



**TUGAS AKHIR - MO141326**

**ANALISIS KELELAHAN PADA STRUKTUR *BRAVO WELLHEAD PLATFORM* DENGAN PENAMBAHAN LUAS *SUB-CELLAR DECK* MENGGUNAKAN METODE *CUMMULATIVE DAMAGE* DAN *FRACTURE MECHANICS***

**Bagus Panuntun**

**NRP. 04311440000079**

**Pembimbing :**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

**Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**



**FINAL PROJECT - MO141326**

**FATIGUE LIFE ANALYSIS OF BRAVO WELLHEAD PLATFORM  
STRUCTURE WITH SUB-CELLAR DECK EXTENSION USING  
CUMMULATIVE DAMAGE AND FRACTURE MECHANICS METHODS**

**Bagus Panuntun**

**NRP. 04311440000079**

**Supervisors :**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

**Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.**

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING**

**FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY**

**INSTITUTE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**

**ANALISIS KELELAHAN PADA STRUKTUR *BRAVO WELLHEAD PLATFORM*  
DENGAN PENAMBAHAN LUAS *SUB-CELLAR DECK* MENGGUNAKAN METODE  
*CUMMULATIVE DAMAGE* DAN *FRACTURE MECHANICS***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**BAGUS PANUNTUN**

**NRP. 04311440000079**

Disetujui Oleh :

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

(Pembimbing 1)



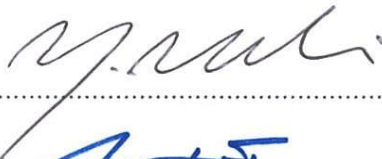
2. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

(Pembimbing 2)



3. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

(Penguji 1)



4. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

(Penguji 2)



5. Ir. Imam Rochani, M.Sc.

(Penguji 3)



SURABAYA, JULI 2018



**ANALISIS KELELAHAN PADA STRUKTUR *BRAVO WELLHEAD PLATFORM*  
DENGAN PENAMBAHAN LUAS *SUB-CELLAR DECK* MENGGUNAKAN  
METODE *CUMMULATIVE DAMAGE* DAN *FRACTURE MECHANICS***

**Nama Mahasiswa : Bagus Panuntun**

**NRP : 04311440000079**

**Departemen : Teknik Kelautan FTK – ITS**

**Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

**Dr. Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.**

**ABSTRAK**

*Offshore fixed platform* didefinisikan sebagai platform yang berada di atas permukaan air dan ditopang *Piles* dari dasar laut, dan juga lebih sering menerima beban berulang sehingga menyebabkan kelelahan struktur. Kelelahan struktur merupakan suatu proses dari kumulatif kerusakan yang disebabkan oleh pengulangan fluktuasi beban yang dapat mengakibatkan keruntuhan meskipun beban yang diterima tidak melebihi batas maksimum untuk beban statik. Tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis kelelahan struktur *Bravo Wellhead Platform* yang beroperasi di Selat Madura dengan kedalaman perairan di lokasi tersebut adalah 180.0 ft terhadap MSL (*Mean Sea Level*). Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan metode *cumulative damage* dan *fracture mechanics*. Pada metode *cummulative damage* didapatkan umur kelelahan terpendek dibawah MSL sebesar 89,342 tahun pada *tubular joint* 303. Selanjutnya, dilakukan analisa lokal dan penambahan *crack* menggunakan metode *fracture mechanics* terhadap *tubular joint* 303. *Tubular joint* paling kritis selanjutnya dianalisa menggunakan metode *fracture mechanics* dengan memberikan *crack* sebesar  $a = 0.25 \text{ mm}$ ,  $a/2c = 0.15$  dan didapatkan umur kelelahannya. Kemudian diketahui selisih umur kelelahan dari kedua metode ini sebesar 22,241 tahun. Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah retak yang nantinya ditambahkan ke dalam struktur dapat mengurangi *service life* struktur secara signifikan.

**Kata Kunci :** *cumulative damage, fracture mechanics, retak (crack), fatigue life, offshore platform, tubular joint*

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

**FATIGUE LIFE ANALYSIS OF BRAVO WELLHEAD PLATFORM STRUCTURE  
WITH SUB-CELLAR DECK EXTENSION USING CUMMULATIVE DAMAGE  
AND FRACTURE MECHANICS METHODS**

**Name of Student : Bagus Panuntun**

**NRP : 04311440000079**

**Department : Ocean Engineering FTK – ITS**

**Supervisor : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D**

**Dr. Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.**

**ABSTRACT**

Offshore fixed platform is defined as a platform that is above the surface of the water and sustained Piles from the seabed, and also more often receives repeated loads causing structural fatigue. Structure fatigue is a process of cumulative damage caused by the repetition of fluctuations in loads that may result in collapse even though the load received does not exceed the maximum limit for static load. This final project aims to analyze the fatigue of the Bravo Wellhead Platform structure operating in the Madura Strait with the depth of the waters at the site is 180.0 ft against MSL (Mean Sea Level). In this final project the author uses cumulative damage and fracture mechanics method. In the method of cumulative damage obtained the shortest fatigue life under MSL of 89.342 years in tubular joint 30. Furthermore, local analysis and the addition of crack using fracture mechanics method to tubular joint 303. The most critical tubular joints were then analyzed using the fracture mechanics method by giving crack  $a = 0.25$  mm,  $a / 2c = 0.15$  and obtained fatigue life. Then the difference in fatigue life of both methods is 22,241 years. The conclusion of this final project is that the crack which is added to the structure can reduce the service life structure significantly.

**Key Words :** cumulative damage, fracture mechanics, crack, fatigue life, offshore platform, tubular joint

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirabbil 'alamin, segala puji bagi Allah Subhanallahu wa ta'ala, Tuhan semesta alam, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Tugas akhir ini berjudul “Analisis Kelelahan Pada Struktur *Bravo Wellhead Platform* Dengan Penambahan Luas *Sub-Cellar Deck* Menggunakan Metode *Cummulative Damage* Dan *Fracture Mechanics*”

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program pendidikan Strata 1 (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semoga tugas akhir ini dapat menambah wawasan dan referensi untuk pembaca.

Penulis sadar bahwa dalam Laporan Tugas Akhir yang dibuat masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran guna membuat kemampuan menyusun laporan yang lebih baik lagi ke depannya sangatlah dibutuhkan. Penulis juga berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, 24 Juli 2018



Bagus Panuntun

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama pengerjaan tugas akhir ini, diantaranya kepada:

1. Allah Jalla Jalaluh yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran selama pengerjaan tugas akhir ini.
2. Orang tua saya yang selalu memberikan doa dan dukungan.
3. Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D dan Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T. yang telah menjadi dosen pembimbing dan memberikan saran serta masukan selama masa pengerjaan tugas akhir ini.
4. Seluruh staff pengajar Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah memberikan saran dan masukan dalam rangka menyempurnakan tugas akhir ini.
5. Direksi dan karyawan PT. Pertamina EP Asset IV Field Poleng khususnya Bapak Banu Dwipa Manggala selaku Manager Divisi RAM yang telah memberikan kesempatan penulis untuk kerja praktek di PT Pertamina EP Asset IV Field Poleng sehingga bisa menemukan salah satu topik untuk digunakan dalam tugas akhir ini.
6. Mas Dicky, Mas Lukman, dan Mas Sofyan yang telah memberikan bimbingan dan pembelajaran kepada penulis selama kerja praktek sehingga bisa memberikan kemudahan saat melakukan pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman-teman angkatan 2014 “MAELSTROM” Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama pengerjaan tugas akhir ini sehingga bisa selesai tepat waktu.
8. Seluruh angkatan yang ada di Departemen Teknik Kelautan (2017, 2016, 2015, 2014, 2013, 2012, 2011) yang telah memberikan bantuan selama pengerjaan tugas akhir ini.
9. Seluruh karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS atas bantuan administrasi yang diberikan kepada penulis.
10. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Hydrocyclone.....	5
2.2.2 Perencanaan Pembebanan .....	7
2.2.3 Kombinasi Pembebanan .....	10
2.2.4 Analisa In-Place .....	11
2.2.5 Analisis <i>Fatigue</i> .....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	25

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2 Penjelasan Diagram Alir .....	27
3.3 Data Struktur <i>Bravo Wellehead Platform</i> .....	29
3.3.1 Lokasi Platform.....	30
3.3.2 Orientasi <i>Platform</i> .....	30
3.3.3 Kedalaman Air .....	30
3.4 Parameter Desain .....	33
3.4.1 Faktor Kontingensi.....	33
3.4.2 Properti Material .....	33
3.4.3 Tegangan Ijin .....	33
3.4.4 Data Lingkungan.....	34
3.4.5 Live Load.....	37
3.4.6 <i>Splash Zone</i> .....	38
3.4.7 <i>Corrosion Allowance</i> .....	38
3.4.8 <i>Dynamic Amplification Factor (DAF)</i> .....	38
3.4.9 Desain Umur Kelelahan .....	38
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1 Permodelan Struktur .....	39
4.1.1 Permodelan <i>Jacket</i> .....	40
4.1.2 Permodelan <i>Topside</i> .....	42
4.1.3 Permodelan <i>Hydrocyclone's Support Structur</i> .....	44
4.2 Pembebanan.....	45
4.2.1 Beban Mati.....	46
4.2.2 Beban Hidup .....	47
4.3 Analisis <i>In-place</i> .....	52
4.3.1 <i>Strengthening Struktur Bravo Wellhead Platform</i> .....	52
4.3.2 <i>Member Stress Check</i> .....	52

4.3.3	<i>Joint Punching Shear Check</i> .....	55
4.3.4	Faktor Keamanan <i>Pile</i> .....	55
4.3.5	Periode Natural Struktur .....	55
4.4	Analisa <i>Fatigue</i> Menggunakan Metode <i>Cummulative Damage</i> .....	56
4.4.1	Beban <i>Fatigue</i> .....	57
4.4.2	<i>Dynamic Amplification Factor</i> .....	57
4.4.3	Validasi Parameter <i>Tubular Joint</i> .....	58
4.4.4	<i>Fatigue Life Member</i> Kritis .....	60
4.5	Analisa <i>Fatigue</i> dengan Menggunakan Metode <i>Fracture Mechanics</i> ...	61
4.5.1	Permodelan Lokal <i>Joint</i> Kritis .....	61
4.5.2	Permodelan Elemen Hingga ( <i>Finite Element Model</i> ) .....	63
4.5.3	Kondisi Batas dan Pembebanan .....	64
4.5.4	<i>Meshing Sensitivity Analysis</i> .....	65
4.5.5	Posisi Retak .....	66
4.5.6	<i>Initial Crack Joint</i> Kritis .....	67
4.5.7	Perhitungan SIF ( <i>Stress Intensity Factor</i> ) .....	68
4.5.8	Validasi <i>Stress Intensity Factor</i> .....	70
4.5.9	Perhitungan Umur Kelelahan .....	71
4.5.10	Selisish Umur Kelelahan Menggunakan Metode <i>Cummulative Damage</i> dan <i>Fracture Mechanics</i> .....	74
BAB V PENUTUP .....		76
5.1	Kesimpulan .....	76
5.2	Saran .....	76
DAFTAR PUSTAKA .....		787

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Faktor Kontingensi (Berdasarkan Offshore Standar DNV-OS-H102) ...	33
Tabel 3.2 Spesifikasi Baja Struktural .....	33
Tabel 3.3 Desain Tegangan yang Bekerja .....	33
Tabel 3.4 Platform Water Level .....	34
Tabel 3.5 Kecepatan Angin.....	34
Tabel 3.6 Data Gelombang .....	35
Tabel 3.7 Data Arus.....	35
Tabel 3.8 Marine Growth Profile .....	36
Tabel 3.9 Current Blockage Factor .....	37
Tabel 3.10 Jumlah Kejadian Gelombang Individual 100 Tahunan di Sekitar Platform .....	37
Tabel 4.1 Validasi COG Berdasarkan Offshore Standard DNV-OS-H102.....	39
Tabel 4.2 Validasi Selfweight Berdasarkan Offshore Standard DNV-OS-H102, January 2012, Page 18 - Sec.3 .....	39
Tabel 4.3 Perbandingan Wall Thickness .....	40
Tabel 4.4 Detail Spesifikasi equipment Hydrocyclone .....	44
Tabel 4.5 Rangkuman Berat Struktural Selama Analisa In-place pada Kondisi Operasi .....	51
Tabel 4.6 Rangkuman Berat Struktural Selama Analisa In-place pada Kondisi Badai .....	51
Tabel 4.7 Member Stress Check untuk Analisa In-place in Operating Condition..	53
Tabel 4.8 Member Stress Check untuk Analisa In-place in Storm Condition.....	54
Tabel 4.9 Joint Punching Shear Check untuk Analisa In-place .....	55
Tabel 4.10 Pile Safety Factor Summary .....	55
Tabel 4.11 Tabel Periode Natural.....	56
Tabel 4.12 Jumlah Kejadian Gelombang Individual 100 Tahunan di Sekitar Platform .....	57
Tabel 4.13 Nilai DAF (Dynamic Amplification Factor) .....	58
Tabel 4.14 Rentang Batasan Formula SCF oleh Efthymiou.....	59
Tabel 4.15 Parameter Utama Tubular Joint .....	60
Tabel 4.16 Turunan Sambungan K-T Joint.....	60
Tabel 4.17 Hasil Joint dan Member Dengan Umur Kelelahan Struktur .....	61

Tabel 4.18 Dimensi Tubular Joint 403 .....	62
Tabel 4.19 Ukuran Fillet Weld Berdasarkan AWS D.1/D.1.1 : 2015 .....	62
Tabel 4.20 Pembebanan Maksimum Tiap Member.....	64
Tabel 4.21 Pembebanan Minimum Tiap Member.....	65
Tabel 4.22 Meshing Sensitivity .....	65
Tabel 4.23 Nilai SIF .....	68
Tabel 4.24 Nilai SIF (Lanjutan) .....	69
Tabel 4.25 Validasi Nilai SIF.....	71
Tabel 4.26 Perhitungan Jumlah Cycle .....	72
Tabel 4.27 Umur kelelahan .....	74
Tabel 4.28 Selisih Umur Kelelahan.....	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi dan Fasilitas Produksi .....	1
Gambar 1.2 Rencana penambahan luas sub-cellar deck.....	2
Gambar 2.1 Bagian-bagian hydrocyclone (Allen,1990).....	6
Gambar 2.2 Beban – beban yang bekerja pada struktur anjungan lepas pantai. ....	8
Gambar 2.3 Daerah aplikasi teori stream function, Stokes 5 <sup>th</sup> dan Airy .....	9
Gambar 2.4 Kurva S-N berdasarkan API RP2A 21 <sup>st</sup> edition .....	13
Gambar 2.5 Sketsa sambungan las yang menggunakan weld profile control (a) dan yang tidak menggunakan weld profile control (b) .....	14
Gambar 2.6 Ilustrasi daerah yang mengalami tegangan hot spot pada sambungan	16
Gambar 2.7 Parameter Utama Tubular Joint .....	17
Gambar 2.8 Mode displacement pada permukaan retak (Barsom dan Rolfe, 1987) .....	20
Gambar 2.9 Grafik perbandingan $a/2c$ dan $\sigma/\sigma_{ys}$ (Barsom dan Rolfe, 1987) .....	21
Gambar 2.10 Perbandingan nilai tebal material dan fracture toughness .....	22
Gambar 2.11 Kurva perambatan retak (Barsom dan Stanley, 1999).....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan).....	26
Gambar 3.2 Struktur Bravo Wellhead Platform.....	29
Gambar 3.3 Schematic diagram lapangan poleng .....	29
Gambar 3.4 Arah Orientasi Offshore Fixed Platform .....	30
Gambar 3.5 Bravo Wellhead Platform Tampak Isometri .....	31
Gambar 3.6 Bravo Wellhead Platform Tampak Atas.....	32
Gambar 3.7 Lokasi Mezzanine deck baru di Bravo Wellhead Platform .....	32
Gambar 4.1 Titik Letak Berat Struktur.....	39
Gambar 4.2 Permodelan <i>jacket leg</i> dan <i>Input</i> data dimensi tubular pada tiap elevasi .....	41
Gambar 4.3 Permodelan bracing di tiap elevasi jacket dan input dimensi baja tubular .....	41
Gambar 4.4 Detail permodelan struktur Jacket Bravo Wellhead Platform .....	42
Gambar 4.5 Detail model cellar deck dan input data member properties dari data as build (Autocad) .....	42
Gambar 4.6 Detail model sub-cellar deck dan input data member properties dari data as build (Autocad) .....	43

Gambar 4.7 Detail lengkap Struktur Topside Bravo Wellhead Platform setelah dimodelkan berdasarkan data as build (Autocad) .....	43
Gambar 4.8 Detail equipment tampak samping (South).....	44
Gambar 4.9 Perletakkan Model Support Structure di Sub-Cellar Deck .....	45
Gambar 4.10 Load Condition 4 : Equipment Load (Existing) pada Cellar Deck (+) 29"-0" .....	46
Gambar 4.11 Load Condition 13 : Live Load at Cellar Deck .....	47
Gambar 4.12 Validasi Teori Gelombang (API RP 2A-WSD tahun 2000) .....	49
Gambar 4.13 Strengthening pada Sub-Cellar Deck.....	52
Gambar 4.14 Member Stress Check struktur untuk Analisa In-place in Operating Condition.....	53
Gambar 4.15 Member Stress Check struktur untuk Analisa In-place in Operating Condition.....	54
Gambar 4.16 Parameter Utama Tubular Joint.....	58
Gambar 4.17 Lokasi Validasi Tubular Joint .....	59
Gambar 4.18 Tubular Joint 303.....	61
Gambar 4.19 Permodelan Lokal Joint 303 Berdasarkan Fillet Weld Requirement (AWS D1.1: 2015).....	63
Gambar 4.20 Meshing Pada Permodelan Analisa Lokal .....	63
Gambar 4.21 Pembebanan Maksimum dan Kondisi Batas.....	64
Gambar 4.22 Grafik Meshing Sensitivity Analysis .....	66
Gambar 4.23 Letak Tegangan Maksimum.....	67
Gambar 4.24 Letak Tegangan Maksimum (Lanjutan) .....	67
Gambar 4.25 (a) Permodelan <i>Crack</i> pada Titik Acuan (b) Bentuk <i>Meshing</i> pada..	68
Gambar 4.26 Grafik Parameter Q.....	70

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN A	Computer Model
LAMPIRAN B	Loading Plot
LAMPIRAN C	Inplace Analysis Output Kondisi Operasi & Kondisi Badai
LAMPIRAN D	Fatigue Analysis Output
LAMPIRAN E	ANSYS Report

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# BAB I

## PENDAHULUAN

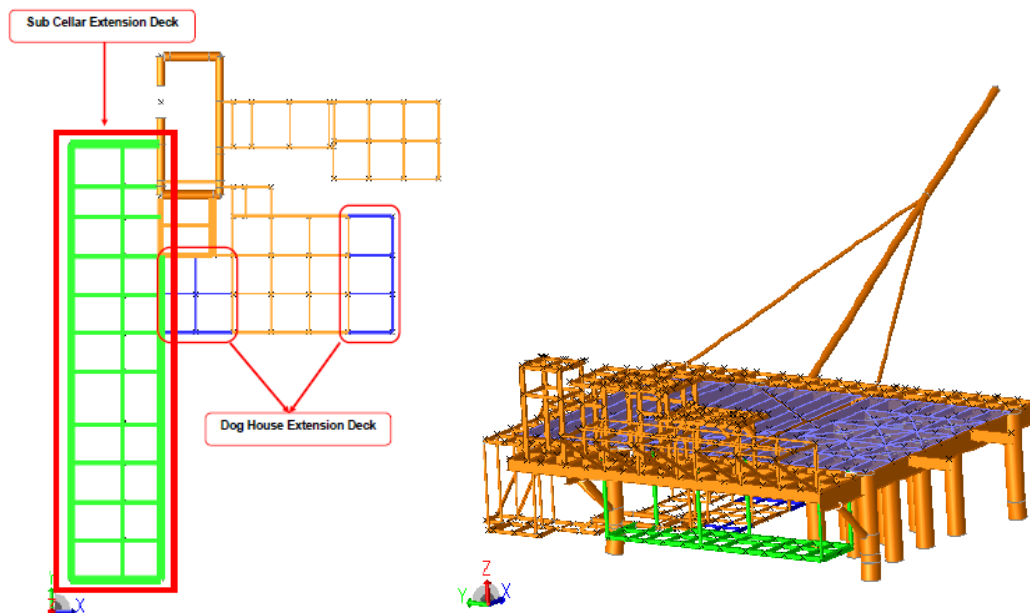
### 1.1 Latar Belakang

*Offshore fixed platform* merupakan anjungan paling tua dan paling banyak dibangun. Struktur *offshore fixed platform* banyak digunakan dalam eksplorasi migas di Indonesia, khususnya di laut Jawa. Suatu *offshore fixed platform* dikategorikan sebagai anjungan terpancang bila anjungan tersebut dalam operasinya bersifat menahan gaya-gaya lingkungan tanpa mengalami *displacement* / deformasi yang berarti. Di laut yang dangkal anjungan dapat dipancangkan ke dasar laut. Salah satu perusahaan yang mempunyai fasilitas *offshore fixed platform* adalah perusahaan X di field Poleng seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta Lokasi dan Fasilitas Produksi

Terdapat beberapa rencana yang akan dikerjakan oleh Perusahaan X untuk meningkatkan kinerja dari eksploitasi minyak dan gas, diantaranya yaitu menambahkan *deck* di bagian *sub-cellar deck* pada elevasi (+) 18'-7", untuk memindahkan *equipment Hydro cyclone* dari *cellar deck* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Rencana penambahan luas *sub-cellar deck*

Platform BW di-*install* pada tahun 1977 dan telah beroperasi selama 41 tahun. Tugas akhir ini akan menganalisa *fatigue service life* struktur *Bravo Wellhead Platform* 4 kaki menggunakan metode *cummulative damage* dan metode *fracture mechanics*. Perlu diketahui suatu analisis struktur *offshore fixed platform* berbeda dengan perhitungan struktur di daratan, hal ini dikarenakan banyaknya beban-beban yang lebih kompleks yang menggambarkan suatu kondisi perairan di lokasi kajian. Dalam suatu analisis struktur, diperlukan suatu desain struktur yang aman dan dapat memenuhi kebutuhan selama panjang umur layannya. Umumnya, sebuah *offshore fixed platform* terdiri dari topside sebagai penopang area operasi dari *platform* tersebut dan *jacket* yang menopang *topside*. *Offshore fixed platform* di-*design* untuk mampu menerima beban-beban sejak saat struktur tersebut di-*install*, saat operasi dan saat kondisi ekstrem dimana *environmental loading* yang menerpa bangunan tersebut dalam kondisi maksimum. Selama masa operasi *platform* terdapat beberapa *environmental loads* yang menerpa terus-menerus, di antaranya angin dan gelombang. Beban-beban ini secara *magnitude* tidak akan menyebabkan struktur *yield*, namun perulangan beban-beban tersebut dapat menyebabkan sambungan-sambungan di struktur tersebut gagal secara *fatigue*.

Analisis *fatigue* pada *offshore fixed platform* adalah hal lazim yang dilakukan oleh para *structural engineer*. Analisa ini merupakan suatu cara yang dapat dilakukan untuk memperkirakan risiko terjadinya kerusakan yang diakibatkan oleh beban berulang dan usia dari suatu bangunan dalam menghadapi beban tersebut. *Output*-nya, akan muncul masa layan atau *fatigue service life* dari masing-masing sambungan. Analisa *fatigue life* struktur *Bravo*



*Wellhead Platform* diawali dengan menganalisa secara global menggunakan metode *cummulative damage*. Dan *joint* yang memiliki *fatigue life* yang kecil akan dianalisa secara lokal. Sehingga mendapatkan nilai *stress intensity factor* dan besarnya perambatan retak yang digunakan untuk menentukan umur kelelahan dari struktur. Pada akhirnya diketahui selisih hasil perhitungan umur kelelahan yang menggunakan metode *cummulative damage* dengan metode *fracture mechanics*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi kajian tugas akhir ini adalah

1. Bagaimana respons dan kekuatan struktur *Bravo Wellhead Platform* (*member unity check, joint unity check*) dalam analisa *inplace* ?
2. Berapa sisa umur kelelahan struktur *Bravo Wellhead Platform* (*Fatigue Life*) menggunakan metode *cummulative damage*?
3. Berapa sisa umur kelelahan struktur *Bravo Wellhead Platform* (*Fatigue Life*) menggunakan metode *fracture mechanics*?

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui respons dan kekuatan struktur *Bravo Wellhead Platform* (*member unity check, joint unity check*) dalam analisa *inplace*.
2. Mengetahui berapa sisa umur kelelahan struktur *Bravo Wellhead Platform* (*Fatigue Life*) menggunakan metode *cummulative damage*?
3. Mengetahui berapa sisa umur kelelahan struktur *Bravo Wellhead Platform* (*Fatigue Life*) menggunakan metode *fracture mechanics*?

## 1.4 Manfaat

Dari analisis ini dapat mengetahui nilai kekuatan dan umur kelayakan struktur *offshore fixed platform*. Analisis dari tugas akhir ini bermanfaat untuk perencanaan keselamatan selama operasi struktur *Bravo Wellhead Platform* tersebut berlangsung. Hasil yang didapatkan dapat dimanfaatkan oleh suatu praktisi atau perusahaan yang akan melakukan modifikasi platform atau penambahan umur kelayakan platform bisa beroperasi.

## 1.5 Batasan Masalah

Untuk memudahkan analisis yang ingin dicapai sesuai tujuan dan untuk memfokuskan ruang lingkup dari permasalahan yang telah dijabarkan di atas, maka permasalahan akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Acuan spesifikasi berdasarkan API RP 2A WSD, AISC 9<sup>th</sup> Edition 1989, dan AWS D1.1 tahun 2000. *Offshore Standard* DNV
2. Analisis kelelahan dilakukan dengan metode deterministik yang berdasarkan data kejadian gelombang selama 100 tahun.
3. Bantuan *software* yang digunakan sebagai penunjang untuk tugas akhir ini menggunakan SACS 5.6. V8i, Solidwork dan ANSYS Workbench.
4. Mode pembebanan dalam menentukan SIF menggunakan mode I
5. Analisis dilakukan pada daerah sambungan tubular (*local analysis*)
6. Jenis retakan yang digunakan adalah *semi-elliptical*

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

**BAB 1 PENDAHULUAN.** Di dalam bab ini menjelaskan tentang hal yang melatarbelakangi untuk dilakukannya studi *cummulative damage* dan *fracture mechanic* ini, permasalahan apa saja yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang ingin diperoleh dalam studi ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

**BAB II DASAR TEORI.** Proses pengerjaan tugas akhir ini penulis menggunakan dasar-dasar teori yang di dalamnya terdapat persamaan dan rumus yang nantinya akan dicantumkan di dalam tinjauan pustaka.

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN.** Bab ini menguraikan tentang tahapan-tahapan dan metode dalam pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini.

**BAB IV ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN.** Pada bab ini membahas bagaimana proses pengerjaan dan penyelesaian dari permasalahan yang diteliti di dalam tugas akhir ini. Selain itu, validasi, pengolahan, analisis, dan pembahasan data hasil dari *output* hasil *running software* juga akan dibahas pada bab ini.

**BAB V PENTUP.** Berisi kesimpulan dari hasil analisis tugas akhir ini, pembahasan yang telah dilakukan, dan saran-saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

*Fatigue* adalah kerusakan pada struktur karena sebagai tempat konsentrasi tegangan yang terjadi akibat beban siklis dari lingkungan (gelombang, angin, arus dan lain-lain) yang bekerja secara terus menerus. Analisis kekuatan *fatigue* diterapkan pada semua struktur yang secara dominan menerima beban siklis, untuk memastikan integritas struktur dan untuk penelaian kemungkinan kerusakan akibat *fatigue* sebagai dasar metode inspeksi yang efisien. Gelombang merupakan sumber penyebab terjadinya *fatigue cracking*. Akan tetapi, beban siklis lainnya juga berpengaruh pada *fatigue failure* dan harus diperhitungkan. (Bastian, 2011)

Mekanika kepecahan merupakan suatu analisis penyelesaian dengan cara mendefinisikan kondisi lokal dari tegangan dan regangan di sekitar retakan yang dikorelasikan dengan parameter-parameter global yang dapat menyebabkan retakan merambat. (Puspitorini, 2017).

*Fracture mechanics* adalah suatu analisis penyelesaian dengan cara mendefinisikan kondisi lokal dari tegangan dan regangan di sekitar retakan yang dikorelasikan dengan parameter-parameter globalnya (beban-beban, geometri dan sebagainya) dimana retakan akan merambat. *Fracture mechanics* terbagi menjadi dua kategori, yakni *linear-elastic* (LEFM) dan *elastic-plastic* (EPFM). LEFM adalah metode yang menunjukkan hubungan antara medan tegangan dan distribusinya di sekitar ujung retak dengan ukuran, bentuk, orientasi retak dan material properti akibat tegangan nominal yang dikenakan pada struktur. Metode ini menggunakan parameter K, atau SIF untuk menunjukkan karakteristik dari medan tegangan yang terjadi. EPFM lebih sering digunakan pada material yang bersifat *ductil*, dimana terjadi perilaku *elastic-plastic* pada material akibat pembebanan yang terjadi. Metode ini merupakan pengembangan dari LEFM, dengan penambahan analisa yang dapat menunjukkan deformasi plastis dari material. (Naess, 1985)

#### **2.2 Dasar Teori**

##### **2.2.1 Hydrocyclone**

Pada dasarnya hydrocyclone merupakan gabungan dari dua kata yaitu hydro dan cyclone. Hydro dapat diartikan air ataupun cairan, sedangkan cyclone dapat diartikan sebagai pusaran. Sehingga hydrocyclone diartikan sebagai pusaran air.

Dalam penggunaannya secara nyata hydrocyclone dapat diartikan sebagai suatu alat yang dapat memisahkan material ataupun partikel dari suatu komposisi campuran baik berbentuk padatan dengan cairan ataupun cairan dengan cairan dengan memanfaatkan gaya setrifugal aliran dan gaya gravitasi bumi. (Bradley, 1965)

#### 2.2.1.1 Prinsip Kerja *Hydrocyclone*

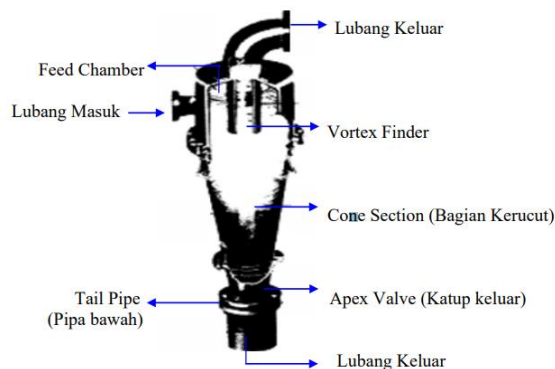
Prinsip kerja dari hydrocyclone adalah terdapatnya kumpulan partikel dan air yang masuk dalam arah tangensial ke dalam siklon pada bagian puncaknya. Kumpulan air dan partikel ditekan ke bawah secara spiral (primary vortex) karena bentuk dari siklon. Gaya sentrifugal menyebabkan partikel terlempar ke arah luar, membentur dinding dan kemudian bergerak turun ke dasar hydrocyclone. Dekat dengan bagian dasar hydrocyclone, air bergerak membalik dan bergerak ke atas dalam bentuk spiral yang lebih kecil (secondary vortex) partikel yang lebih ringan bergerak keluar dari bagian puncak hydrocyclone sedangkan partikel yang berat keluar dari dasar hydrocyclone.

Ada beberapa alasan mengapa hydrocyclone dipakai sebagai alat pemisah, yaitu:

1. Biaya operasional yang relatif murah
2. Prosesnya dapat dilakukan pada satu tempat
3. Desain ataupun modelnya sederhana, berupa kombinasi konstruksi silinder dan kerucut
4. Tidak memiliki bagian yang bergerak
5. Minim biaya perawatan

#### 2.2.1.2 Bagian-bagian dari *Hydrocyclone*

Secara umum bagian-bagian dari *Hydrocyclone* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagian-bagian *hydrocyclone* (Allen, 1990)

Keterangan:

1. Lubang masuk
2. Cylindrical section
3. Vortex finder
4. Cone section
5. Lubang keluar

### 2.2.2 Perencanaan Pembebanan

Platform atau anjungan adalah struktur yang khusus didesain untuk kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi di lepas pantai. Struktur ini menjadi subjek terhadap berbagai macam pembebanan, dimana menurut API RP2A beban yang dapat diterima oleh struktur anjungan lepas pantai adalah sebagai berikut :

#### A. Beban Mati

Beban mati struktur adalah berat struktur itu sendiri, semua perlengkapan yang permanen dan perlengkapan struktur yang tidak berubah selama beroperasinya struktur. Beban mati terdiri dari :

1. Beban *platform* di udara.
2. Beban perlengkapan yang permanen.
3. Gaya angkat hidrostatis di bawah permukaan garis air, termasuk tekanan dan gaya angkat.

#### B. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang mengenai struktur dan berubah selama operasi *platform* berlangsung. Beban hidup terdiri dari :

1. Beban perlengkapan pengeboran dan perlengkapan produksi yang bisa dipasang dan dipindahkan dari *platform*.
2. Berat tempat tinggal (*living quarters*), *heliport*, dan perlengkapan penunjang lainnya yang bisa dipasang dan dipindahkan dari *platform*.
3. Berat dari suplai kebutuhan dan benda cair lainnya yang mengisi tangki penyimpanan.
4. Gaya yang mengenai struktur selama operasi seperti pengeboran, penambatan kapal, dan beban helikopter.

### C. Beban Lingkungan

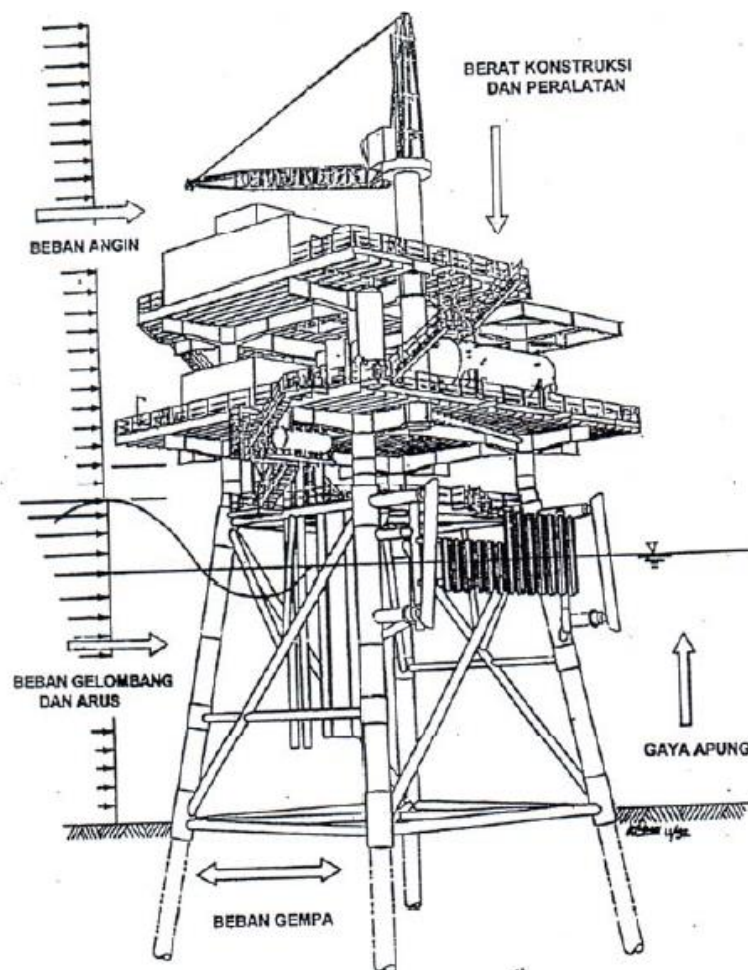
Beban lingkungan yang mengenai struktur dikarenakan fenomena alam seperti angin, arus, gelombang, gempa bumi, salju, es, dan pergerakan kerak bumi. Beban lingkungan juga didalamnya termasuk variasi tekanan hidrostatik dan gaya angkat pada setiap elemen karena perubahan tingga air yang disebabkan oleh perubahan gelombang dan pasang surut.

### D. Beban Konstruksi

Beban konstruksi dihasilkan dari beban-beban pada saat fabrikasi, *loadout*, transportasi dan instalasi.

### E. Beban Dinamik

Beban dinamik ini disebabkan karena adanya gaya yang berulang-ulang seperti gelombang, angin, gempa bumi, atau getaran mesin, juga gaya akibat benturan kapal pada struktur dan pengeboran.



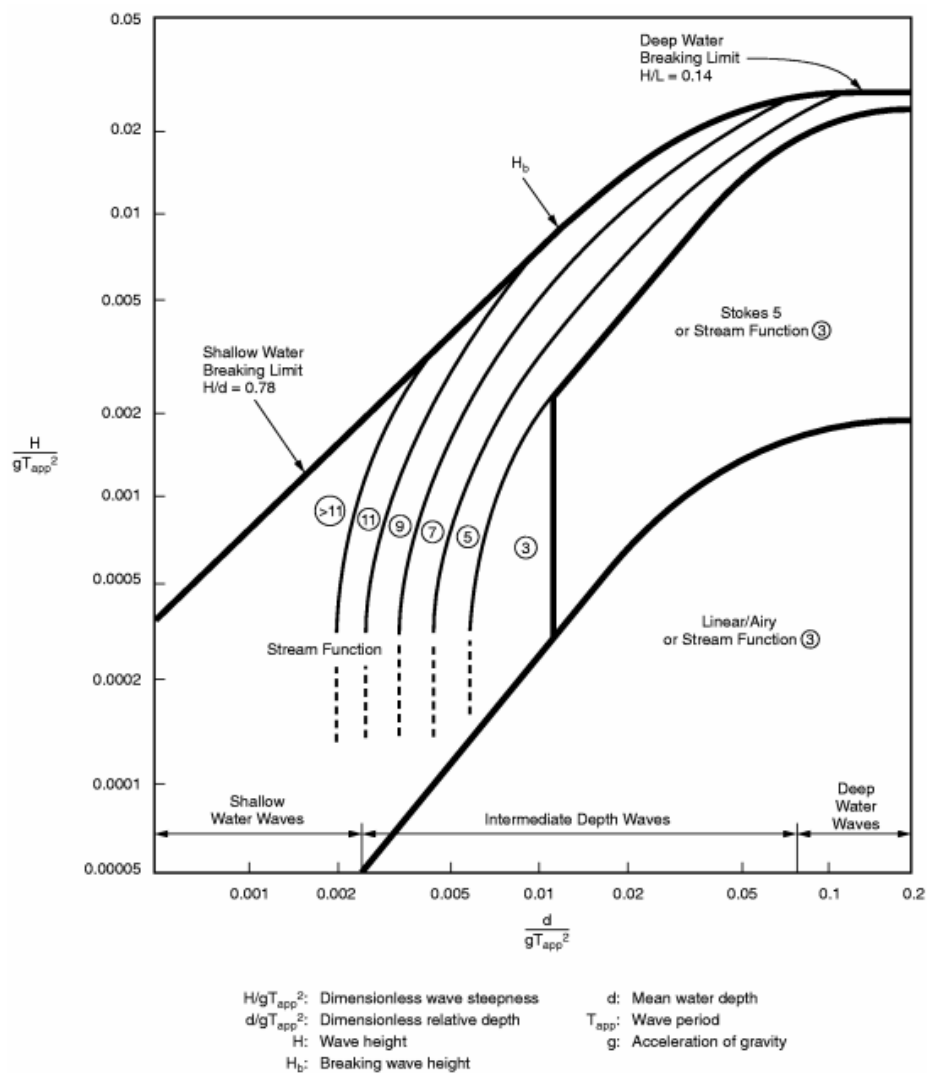
Gambar 2.2 Beban – beban yang bekerja pada struktur anjungan lepas pantai.

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa terdapat beberapa beban lingkungan laut yang dapat mempengaruhi kestabilan struktur. Perhitungan beban-beban lingkungan yang bekerja pada struktur mengacu pada rekomendasi yang diberikan oleh API RP2A dan dilakukan berdasarkan data oseanografi dan meteorologi seperti tinggi gelombang, periode gelombang, kecepatan angin, arus, kondisi tanah, dan lain sebagainya.

### 2.2.2.1 Gelombang

Gelombang pada dasarnya adalah manifestasi dari gaya-gaya yang bekerja pada fluida. Dalam bahasan ini media perambatan gelombang tersebut adalah fluida air. Tiupan angin pada durasi dan kecepatan tertentu membangkitkan sebagian besar dipermukaan lautan. Ketika gelombang terbentuk, gaya gravitasi dan tegangan permukaan akan bereaksi untuk menimbulkan rambatan gelombang.

#### 2.2.2.1.1 Pemilihan Teori Gelombang



Gambar 2.3 Daerah aplikasi teori *stream function*, *Stokes 5<sup>th</sup>* dan *Airy*

Dalam perencanaan desain gelombang suatu struktur anjungan lepas pantai perlu ditentukan teori gelombang yang sesuai. Barltrop et al (1990) menawarkan suatu diagram yang diperoleh dari hasil membandingkan kecepatan partikel air, percepatan, tinggi gelombang, dan panjang gelombang yang dihitung dari teori gelombang yang sering digunakan. Gambar 2.3 adalah diagram daerah aplikasi dari Stream Function, *Stokes 5<sup>th</sup> order*, dan teori gelombang linier yang telah dimodifikasi API RP2A untuk keperluan desain.

#### 2.2.2.2 Faktor Kinematika Gelombang

Kinematika gelombang umum dua dimensi dari teori gelombang *Stream Function* atau *Stokes 5* tidak memperhitungkan penyebaran arah gelombang atau ketidakseragaman dalam bentuk profil gelombang. Karakteristik nyata ini dapat dimodelkan dalam analisis gelombang deterministik dengan mengalikan kecepatan dan percepatan mendatar dari penyelesaian gelombang dua dimensi umum dengan faktor kinematika gelombang. Pengukuran kinematika gelombang memiliki faktor berkisar antara 0,85 sampai 0,95 untuk badai tropis dan 0,95 sampai 1,00 untuk badai bukan tropis.

#### 2.2.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan ini terdiri dari beban lingkungan, beban mati dan beban hidup yang sesuai. Beban lingkungan harus dikombinasikan dengan cara yang sesuai dengan kemungkinan kejadian tersebut terjadi bersamaan selama kondisi pembebanan yang sedang dipertimbangkan.

Pembagian beban yang dikombinasikan :

##### 1. Beban Gravitasi

Beban gravitasi terdiri dari :

- a. Berat sendiri platform
- b. Beban peralatan
- c. Beban lain-lain (perubahan desain, perubahan fabrikasi, dll)

##### 2. Beban Angin

- a. Dianalisis untuk kondisi operasi dan kondisi ekstrim.
- b. Beban angin ini bekerja pada 8 mata angin.

##### 3. Beban Gelombang dan Arus

- a. Dianalisis untuk kondisi operasi dan kondisi ekstrim.
- b. Dianalisis pada 8 arah mata angin.



#### 2.2.4 Analisa In-Place

Analisa *inplace* merupakan tahapan untuk mengetahui kemampulayanan struktur. Adapun tahapan yang dilakukan sebelum melakukan analisis in-place ini adalah :

1. Melakukan permodelan struktur
2. Melakukan input beban-beban yang bekerja

Setelah kedua tahap tersebut dilakukan, maka selanjutnya dilakukan analisis terhadap kemampuan struktur menahan beban-beban yang bekerja. Analisis *inplace* merupakan analisis statik struktur anjungan lepas pantai. Analisis dilakukan dengan anggapan bahwa struktur dan *pile* memiliki kekakuan linier, sedangkan tanah mempunyai kekakuan non linier. Analisis *inplace* dapat dibagi menjadi dua kondisi, yaitu :

1. Kondisi Operasi

Pada kondisi ini, anjungan beroperasi secara normal sehingga struktur menerima seluruh beban kerja yang ada. Beban lingkungan yang terjadi pada struktur seperti beban gelombang, angin dan arus diambil harga ekstrim.

2. Kondisi Badai

Kondisi ini merupakan kondisi terjadinya badai pada lokasi struktur. Pada kondisi ini tidak ada beban *work over rig live*. Selain itu dianggap crane tidak bekerja, akibatnya hanya ada nilai beban crane vertikal saja. Allowable stress dari tiap batang dinaikkan harganya sebesar 133% menurut AISC.

Input beban dalam analisis *inplace* ini dapat dibagi menjadi 2 (dua), yaitu beban dasar dan beban kombinasi. Beban dasar meliputi : berat struktur di udara, *bouyancy*, peralatan, kelengkapan *deck* dan *jacket*, *crane*, angin, gelombang, dan arus. Selain beban-beban diatas, penting juga untuk memperhatikan pengaruh *marine growth*. Beban lingkungan yang bekerja seperti beban gelombang, angin dan arus dianggap sebagai beban statik dan dikombinasikan dari 8 arah penjuruan angin.

Pengecekan yang dilakukan untuk kondisi statik inplace berdasarkan API-WSD adalah sebagai berikut:

1. Kekuatan member pada struktur harus memenuhi kondisi *combined unity check* (perbandingan tegangan yang terjadi pada elemen dengan tegangan yang diizinkan untuk elemen tersebut) lebih kecil dari 1 ( $\text{Combined UC} < 1$ ).

2. Kekuatan dari joint pada struktur harus memenuhi nilai  $UC < 1$  (untuk pembebanan normal dan *punching shear*).
3. Nilai safety factor dari pile harus lebih dari atau sama dengan 2 ( $SF \geq 2$ ) untuk kondisi operasi, sedangkan untuk kondisi badai  $SF \geq 1.5$ .

Jika semua parameter diatas terpenuhi, maka struktur anjungan lepas pantai bisa dikatakan kuat menahan beban-beban yang bekerja.

### 2.2.5 Analisis *Fatigue*

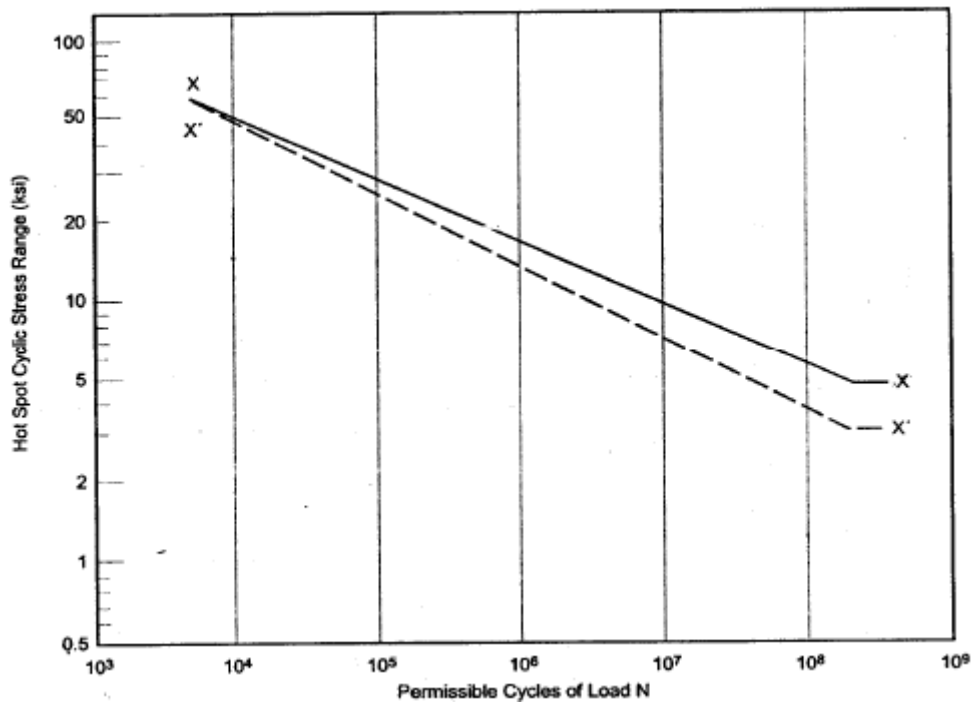
Struktur baja yang mengalami fluktuasi tegangan dalam jumlah yang banyak dapat mengalami retak bahkan pada tegangan yang kecil. Fluktuasi tegangan disebabkan oleh beban lingkungan seperti angin dan gelombang, atau getaran dari mesin. Retak kecil dapat berkembang menjadi lebih besar dan dapat mengakibatkan kerusakan struktur. Retak kecil tersebut diakibatkan oleh karena cacat pada bahan, titik dari ketidakhomogenan lokal, dan titik perubahan drastis dari geometri struktur. Struktur yang menggunakan sambungan las juga rentan terhadap *fatigue* sehingga memerlukan pengawasan yang kontinu.

Berdasarkan API RP 2A 21<sup>st</sup> edition section 5, pada analisis *fatigue* struktur dimodelkan sebagai *space frame* untuk mendapatkan respon struktur berupa tegangan nominal member untuk gaya gelombang yang bekerja.

Dengan melakukan analisis *fatigue*, kita dapat menentukan sisa masa layan dari sambungan las elemen silinder sebuah struktur. Terdapat beberapa parameter yang berhubungan dengan analisis *fatigue*.

#### 2.2.5.1 Kurva S-N

Kurva S-N adalah karakteristik *fatigue* yang umum digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. Kurva tersebut diperoleh dari tes spesimen baja yang diberi beban berulang dengan jumlah N siklus sampai terjadi kegagalan. Besarnya N berbanding terbalik dengan rentang tegangan S (tegangan maksimum – tegangan minimum). Kurva ini menyediakan informasi karakteristik *fatigue* dengan amplitudo pembebanan konstan. Kurva S-N yang digunakan berdasarkan API RP2A 21<sup>st</sup> edition (WSD) section 5.4 ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva S-N berdasarkan API RP2A 21<sup>st</sup> edition

Secara matematis, persamaan kurva dapat dituliskan sebagai berikut :

$$N = 2 \times 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)^{-m} \quad (2.1)$$

Dengan :

$m$  : kemiringan kurva S-N yang dipakai

$N$  : banyaknya siklus beban sampai member mengalami kegagalan.

$\Delta\sigma$  : rentang tegangan (tegangan maksimum – tegangan minimum)

$\Delta\sigma_{ref}$  : rentang tegangan pada siklus sebanyak  $2 \times 10^6$  kali.

Kurva X dapat digunakan untuk profil las terkontrol dan memiliki cabang sambungan kurang dari 25 mm. Untuk profil las terkontrol yang sama tetapi ketebalannya lebih besar, perlu menggunakan koreksi efek skala. Kurva X' dapat digunakan untuk profil las tanpa kontrol, tetapi sesuai dengan profil dasar standar pelat (ANSI/AWS) dan memiliki ketebalan cabang sambungan kurang dari 16 mm. Sketsa sambungan las yang menggunakan weld profile control dan yang tidak menggunakan weld profile control ditunjukkan pada Gambar 2.5. Untuk profil pelat yang sama tetapi ketebalannya lebih besar, perlu menggunakan koreksi efek skala. Adapun rumus koreksi efek skala diberikan sebagai berikut :

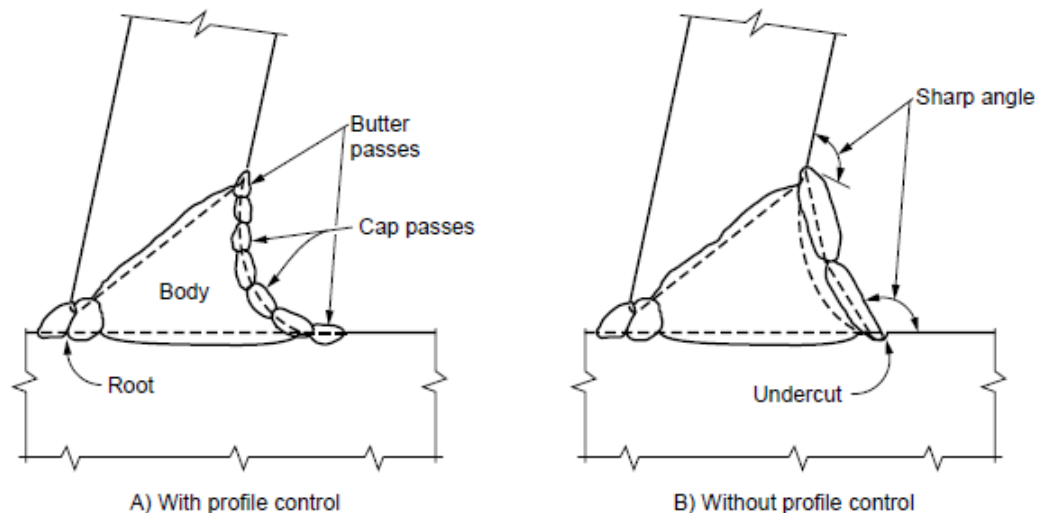
$$\text{Tegangan Izin} = S_o = \left\{ \frac{t}{t_o} \right\}^{-0,25} \quad (2.2)$$

Dengan :

$S_o$  : tegangan izin dari kurva S-N

$t$  : ketebalan member cabang

$t_o$  : ketebalan batas cabang



Gambar 2.5 Sketsa sambungan las yang menggunakan weld profile control (a) dan yang tidak menggunakan weld profile control (b)

untuk member yang berada dibawah permukaan air laut dan terdapat perlindungan katodik serta amplitudo yang konstan, batas ketahanan terhadap *fatigue* (*endurance limit*) terjadi sampai  $2 \times 10^8$  siklus. Sambungan didaerah *splash zone* dapat diabaikan pada perhitungan *fatigue* karena beban siklik yang terjadi akibat *sea states* dianggap tidak signifikan. Untuk sambungan yang mengalami beban siklik dengan amplitudo berubah seperti yang umumnya terjadi pada beban lingkungan, batas ketahanan terhadap *fatigue* dapat diasumsikan sebesar  $10^7$  untuk kurva X dan  $2 \times 10^7$  untuk kurva X'. Kurva X dan X' digunakan dengan rentang tegangan *hot spot* yang sesuai dengan *Stress Concentration Factor* nya.

#### 2.2.5.2 Aturan Miner

Kurva S-N hanya menyediakan informasi untuk pembebanan dengan amplitudo konstan. Untuk pembebanan lingkungan dengan amplitudo yang bervariasi, kurva S-N dilengkapi dengan peraturan yang disebut aturan Miner. Aturan ini memungkinkan

perhitungan kerusakan *fatigue* (D) dengan beberapa amplitudo pembebanan berbeda. Konsep kerusakan *fatigue* adalah dasar dari peraturan ini.

Kerusakan *fatigue* (D) untuk join yang mengalami pembebanan dengan amplitudo konstan dapat dirumuskan secara sederhana sebagai berikut :

$$D = \frac{n}{N} \quad (2.3)$$

Dengan :

D : Kerusakan dalam 1 tahun

n : Jumlah siklus pada rentang tegangan yang bekerja

N : Jumlah siklus pada rentang tegangan yang diizinkan sesuai kurva S-N

Apabila join mengalami pembebanan dengan amplitudo yang bervariasi, siklus pembebanan dapat dibagi menjadi beberapa grup yang memiliki rentang tegangan yang sama. Kerusakan *fatigue* yang terjadi adalah penjumlahan dari kerusakan *fatigue* dari masing-masing grup. Aplikasi dari Aturan Miner dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} \quad (2.4)$$

Dengan :

D : Kerusakan dalam 1 tahun

$n_i$  : Jumlah siklus pada rentang tegangan yang bekerja pada grup ke-i

$N_i$  : Jumlah siklus pada rentang tegangan grup ke-i yang diizinkan sesuai kurva S-N

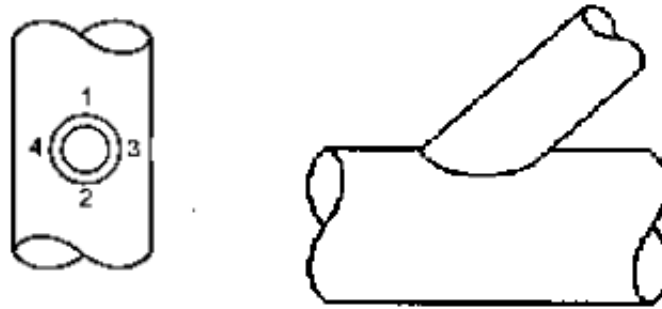
m : Jumlah pembagian grup rentang tegangan

Kegagalan sambungan struktur akan terjadi apabila nilai persamaan Plamgren-Miner diatas lebih dari 1.

### 2.2.5.3 Faktor Konsentrasi Tegangan

Pada kondisi tegangan yang kompleks, terkadang tidak begitu pasti tegangan mana yang harus digunakan untuk kurva S-N. Untuk itu sebuah efek konsentrasi tegangan dapat digunakan pada perhitungan tegangan berupa SCF. *Stress Concentration Factor* (SCF) adalah perbandingan antara tegangan didaerah *hot spot* dengan tegangan nominal pada penampang. Faktor ini dipengaruhi oleh besaran-besaran dari sambungan, konfigurasi sambungan, dan *load*

*path* gaya. Tegangan daerah *hot spot* adalah tegangan di sekitar diskontinuitas struktur seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi daerah yang mengalami tegangan *hot spot* pada sambungan

*Stress Concentration Factor* diperoleh dari analisis elemen hingga, pengetesan model, atau persamaan empiris tertentu. Terdapat beberapa pendekatan empirik untuk menentukan besaran SCF pada *brace* dan *chord*. Salah satu persamaan SCF yang sering digunakan adalah persamaan Efthymiou sebagai berikut:

1. SCF akibat beban aksial

$$SCF_{Chord} = 1.45 \quad (2.5)$$

$$SCF_{Brace} = 1 + [0.65\beta\tau^{0.4}\gamma^{(1.09-0.77\beta)}(\sin\theta)^{(0.06\gamma-1.16)}] \quad (2.6)$$

2. SCF akibat momen *in-plane*

$$SCF_{Chord} = \gamma\tau\beta(1.7 - 1.05\beta^3)(\sin\theta)^{1.6} \quad (2.7)$$

$$SCF_{Brace} = \tau^{(-0.54)}\gamma^{(-0.05)}(0.99 - 0.47\beta + 0.08\beta^4)SCF_{chord} \quad (2.8)$$

3. SCF akibat momen *out-plane*

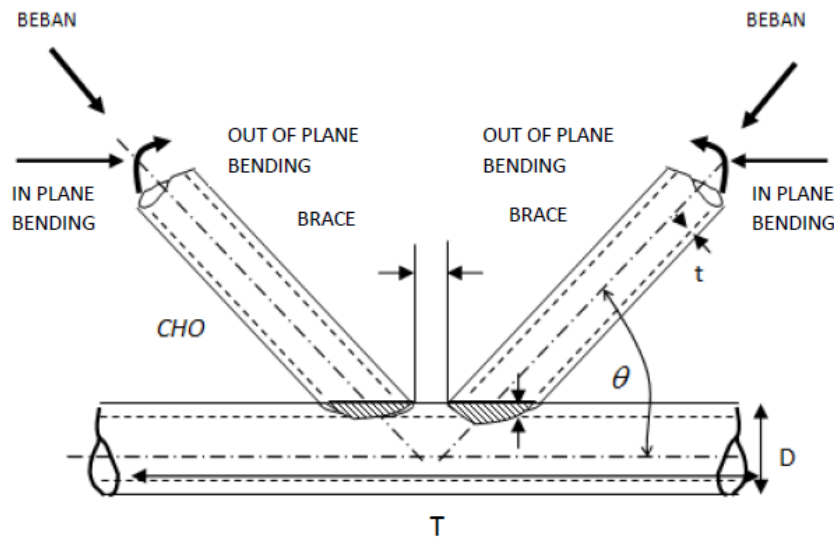
$$SCF_{Chord} = \gamma^{0.2}\tau\{2.65 + 5(\beta - 0.65)^{0.2}\} + \tau\beta(0.5Ca - 3)\sin\theta \quad (2.9)$$

$$SCF_{Brace} = 3 + \gamma^{1.2}\{0.12 \exp(-4\beta) + 0.011\beta^{0.2} - 0.045\} + \tau\beta(0.2Ca - 1.2) \quad (2.10)$$

Dengan parameter-paramater pada joint yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

$$\beta = d/D \quad a = 2L/D \quad \gamma = D/2T$$

$$\tau = t/T \quad \zeta = g/D$$



Gambar 2.7 Parameter Utama *Tubular Joint*

(sumber. API RP 2A, 21<sup>st</sup> edition, American Petroleum Institute, 2005)

Keterangan :

$\theta$  = Sudut Brace (dari Chord)

$g$  = Gap

$t$  = Tebal Brace

$T$  = Tebal Chord

$d$  = Diameter Brace

$D$  = Diameter Chord

#### 2.2.5.4 *Dynamic Amplification Factor (DAF)*

Dalam ilmu dinamika struktur dinyatakan bahwa setiap benda atau struktur seperti *fixed offshore platform* memiliki periode/frekuensi natural tersendiri tanpa adanya gaya eksternal. Sehingga apabila terdapat gaya eksternal terhadap suatu struktur berupa beban siklis yang juga memiliki periode tersendiri mendekati periode naturalnya, maka dipastikan terdapat potensi terjadinya resonansi dari struktur tersebut. Resonansi tersebut menyebabkan adanya amplifikasi atau pembesaran beban yang terjadi pada struktur.

*Dynamic Amplification Factor (DAF)* harus dipertimbangkan untuk memasukkan pengaruh dari resonansi gelombang pada struktur. Semakin dekat periode gaya dengan periode alami struktur, maka nilai DAF akan semakin besar. Persamaan berikut ini digunakan untuk menghitung nilai DAF untuk masing-masing periode gelombang.

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + (2\xi\Omega^2)^2}} \quad (2.11)$$

Dimana :

$$\text{rasio frekuensi} \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_s} = \frac{\text{frekuensi gaya luar}}{\text{frekuensi natural}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T_w} \quad , T_s = \text{periode natural}$$

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_s} \quad , T_w = \text{periode gelombang (gaya luar)}$$

$$\text{rasio redaman} \quad \xi = 0,05$$

Dapat diketahui bahwa jika rasio  $T_s/T_w$  mendekati nilai 1, maka nilai DAF akan semakin besar. Hal ini logis sebab ketika periode gelombang  $T$  mendekati periode natural strukturnya akan terjadinya resonansi akibat adanya pembesaran beban struktur tersebut. DAF dapat memperbesar beban suatu struktur hingga tiga kali lipatnya untuk rasio redaman 0.05.

#### 2.2.5.5 Metoda Analisis *Fatigue*

Berikut beberapa metoda analisis fatigue :

##### A. Metode *Deterministic*

Dalam metode ini, umum diterapkan karena lebih sederhana dibandingkan metode lain, energi gelombang laut disimulasikan berdasarkan frekuensi dan tinggi gelombangnya dengan jumlah kejadian tertentu secara terus menerus. Struktur akan merespons dan tegangan maksimum (*Hot Spot Stress* – HSS) dihasilkan berdasarkan frekuensi dan tinggi gelombang tertentu sehingga tiap kejadian dijumlahkan untuk mendapatkan total kerusakan atau hasil kelelahan selama umur struktur tersebut.

##### B. *Fracture Mechanics*

*Fracture mechanics* adalah suatu analisis penyelesaian dengan cara mendefinisikan kondisi lokal dari tegangan dan regangan di sekitar retakan yang dikorelasikan dengan parameter-parameter globalnya (beban-beban, geometri dan sebagainya) dimana retakan akan merambat. *Fracture mechanics* terbagi menjadi dua kategori, yakni *linear-elastic* (LEFM) dan *elastic-plastic* (EPFM). LEFM adalah metode yang menunjukkan hubungan antara medan tegangan dan distribusinya di sekitar ujung retak dengan ukuran, bentuk, orientasi retak dan material properti akibat tegangan nominal yang dikenakan pada struktur. Metode ini menggunakan parameter K, atau SIF untuk menunjukkan karakteristik dari medan tegangan yang terjadi. EPFM lebih sering digunakan pada material yang bersifat *ductil*, dimana terjadi perilaku



*elastic-plastic* pada material akibat pembebanan yang terjadi. Metode ini merupakan pengembangan dari LEFM, dengan penambahan analisa yang dapat menunjukkan deformasi plastis dari material.

#### A. *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM)

LEFM merupakan metode yang menunjukkan hubungan antara medan tegangan dengan distribusinya pada sekitar ujung retakan berdasarkan ukuran, bentuk, orientasi dan material property. Parameter yang digunakan dalam metode LEFM adalah SIF dimana SIF merupakan *Stress Intensity Factor* yang digunakan untuk menentukan karakteristik dari suatu retakan yang terjadi pada *tubular joint*.

#### B. *Elastic Plastic Fracture Mechanics* (EPFM)

EPFM adalah lanjutan dari metode LEFM dimana yang dianalisa adalah bagian material yang mendekati batas *plastic* dari suatu material. Umumnya sering digunakan pada material yang bersifat *ductil* yang memiliki sifat elastis-plastis.

#### 2.2.5.6 **Stress Intensity Factor (SIF)**

Parameter yang digunakan untuk *fracture toughness* salah satunya adalah *stress intensity factor* (SIF) yang menentukan kepecahan dari materi. SIF adalah satu fungsi tegangan, geometri, dan ukuran retak. Bentuk retak pada SIF dapat dilihat pada Gambar 2.8. SIF dapat diwakili dengan persamaan sebagai berikut:

$$K = \sigma_{nom} \sqrt{\pi \alpha} f_{(g)} \quad (2.12)$$

dengan:

$K$  = *stress intensity factor* (ksi/in)

$\alpha$  = panjang retak awal

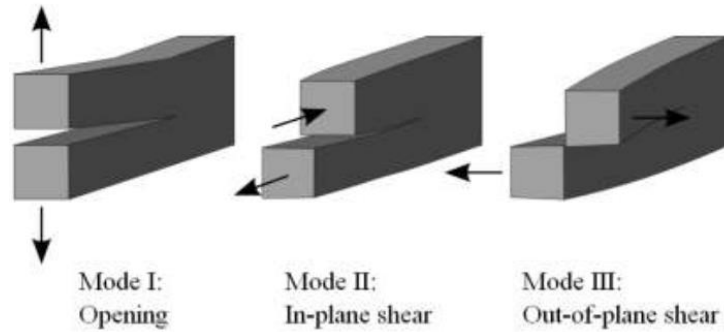
$\sigma_{nom}$  = tegangan nominal

$f_{(g)}$  = fungsi koreksi terhadap dimensi, geometri dan posisi retak

Berikut adalah beberapa mode pembebanan yang terjadi untuk menentukan SIF:

- a. Mode I, merupakan keadaan yang tegangan tarik arahnya lurus dengan bidang rambatan retak sehingga mengakibatkan terjadi retakan tegak lurus dengan bidang retak.

- b. Mode II, disebut juga sebagai *in-plane shear* yang merupakan keadaan dimana tegangan geser searah dengan bidang rambat retak sehingga *displacement* sejajar dengan bidang retak.
- c. Mode III, dapat disebut *out-plane shear* yang merupakan kombinasi dari mode I dan II sehingga perambatan retak saling berjauhan dengan arah yang berbeda.



Gambar 2.8 Mode displacement pada permukaan retak (Barsom dan Rolfe, 1987)

Pada pengerjaan tugas akhir, penulis menggunakan mode I (*opening mode*). Dalam menentukan tegangan dan displasmen pada retak, maka dilakukan dengan persamaan Irwin yaitu:

$$\sigma_x = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.13)$$

$$\sigma_y = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.14)$$

$$\sigma_z = \nu [\sigma_x + \sigma_y] = 0 \quad (2.15)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (2.16)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yz} = 0 \quad (2.17)$$

dengan :

$K_1$  = *Stress Intensity Factor* untuk Mode I

$\sigma_x$  = tegangan normal (MPa)

$\tau_{xy}$  = tegangan geser bidang x arah sumbu y (MPa)

$r$  = jarak *cracktip* dengan *node* yang ditinjau (m)

$\theta$  = sudut antara node yang ditinjau dengan sumbu x (degree)

$\nu$  = Poisson's Ratio

Pada perhitungan retak menggunakan *semi-elliptical* yang memiliki persamaan SIF sebagai berikut:

$$K_I = 1.12\sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} M_k \quad (2.18)$$

Nilai dari Q dapat ditentukan dengan menggunakan grafik sesuai Gambar 2.9 dengan menghubungkan nilai  $a/2c$  dan  $\sigma/\sigma_{ys}$ .

$$M_k = 1.0 + 1.2 \left( \frac{a}{t} - 0.5 \right) \quad (2.19)$$

Keterangan:

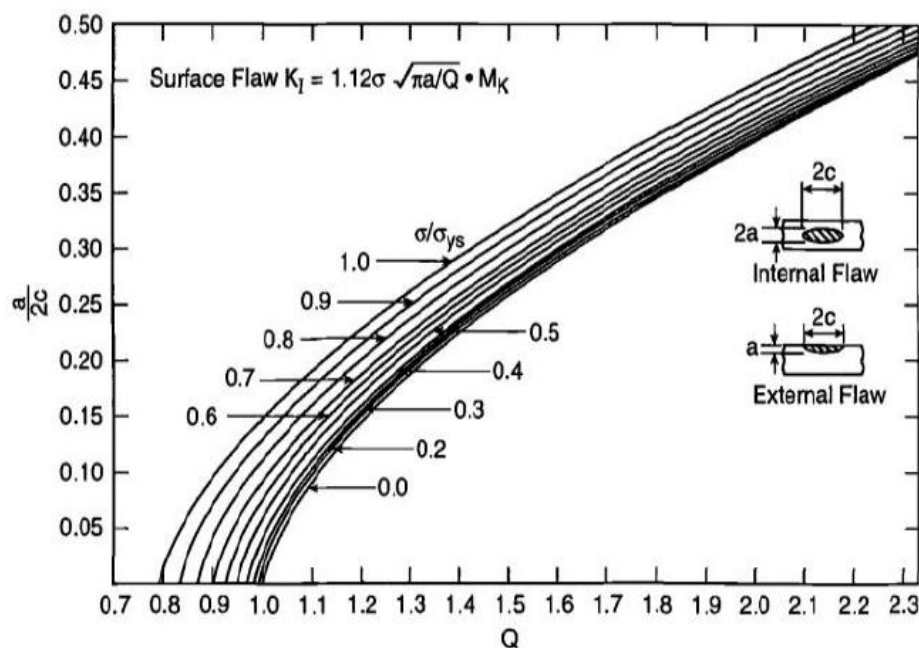
$K_I$  = Stress Intensity Factor

Q = Faktor koreksi *front free surface*

$M_k$  = Faktor koreksi *back free surface*

a = Kedalaman retak

t = Ketebalan material



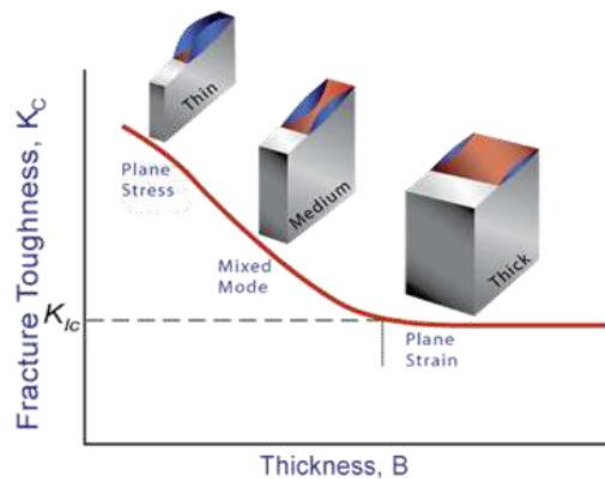
Gambar 2.9 Grafik perbandingan  $a/2c$  dan  $\sigma/\sigma_{ys}$  (Barsom dan Rolfe, 1987)

#### 2.2.5.7 Fracture Toughness ( $K_{IC}$ )

Fracture toughness merupakan kemampuan material untuk menahan beban atau deformasi yang terjadi akibat retak dengan memperhatikan faktor cacat material, geometri material, kondisi pembebanan, dan tentunya property material yang digunakan. Pengertian

yang lebih mudah fracture toughness bisa disebut sebagai ketangguhan retak suatu material untuk mengevaluasi kemampuan komponen yang mengandung cacat untuk melawan *fracture* (pecah/patah).

Besarnya nilai *fracture toughness* dipengaruhi oleh ketebalan suatu material, semakin tebal suatu material maka nilai fracture toughness akan semakin besar akan tetapi jika tebal material melebihi batas kritis maka akan menyebabkan nilai fracture toughness cenderung konstan. Ketebalan suatu material dipengaruhi oleh kondisi pembebanan, jika beban yang diberikan merupakan *plane strain* (regangan/tarikan) maka akan membutuhkan nilai ketebalan yang lebih besar sedangkan jika beban yang diberikan merupakan *plane stress* (tekanan) maka membutuhkan nilai ketebalan yang relatif lebih kecil. Grafik perbandingan nilai tebal material dan *fracture toughness* ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Perbandingan nilai tebal material dan *fracture toughness*

#### 2.2.5.8 Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Pada kegagalan akibat retakan ditandai dengan munculnya retak awal atau disebut *initial crack*. Pada tahap ini menjadi indikasi awal terjadinya kegagalan struktur. Perjalanan retakan ini terus berlanjut dengan diikuti perambatan retak yang diakibatkan tegangan geser (*micro crack growth stage*) yang terus merambat sehingga didominasi oleh adanya tegangan tarik (*macro crack growth stage*) sampai sisa penampang komponen tidak mampu lagi mendukung tegangan kerja hingga patah (*final fracture*). Gambar 2.11 menunjukkan wilayah perambatan retak sesuai Rolfe, 1999.

**Region I :** perambatan retak pada region ini menunjukkan karakteristik “*fatigue threshold*” yang merupakan fluktuasi kenaikan nilai *stress intensity factor* dengan parameter  $\Delta K_{th}$ . Nilai  $\Delta K$  harus lebih besar dari nilai  $\Delta K_{th}$  untuk memungkinkan terjadinya perambatan retak.

Nilai  $da/dN$  antara region I dan region II adalah :

$$\frac{da}{dN} = c(\Delta K^m - \Delta K + h^m) \quad (2.20)$$

**Region II** : perambatan-perambatan retak mulai terjadi. Kecepatan perambatan retak dapat dihitung menggunakan hukum Paris-Erdogan:

$$\frac{da}{dN} = c(\Delta K)^m \quad (2.21)$$

Nilai  $da/dN$  antara **region II** dan **region III** (bila efek R diperhitungkan) adalah:

$$\frac{da}{dN} = \frac{\Delta K^2}{4\pi\sigma_Y} \left\{ \frac{(\Delta K - \Delta K_C + h)(1-R)}{(1-R)K_C - \Delta K} \right\} \frac{1}{2} \quad (2.22)$$

dengan:

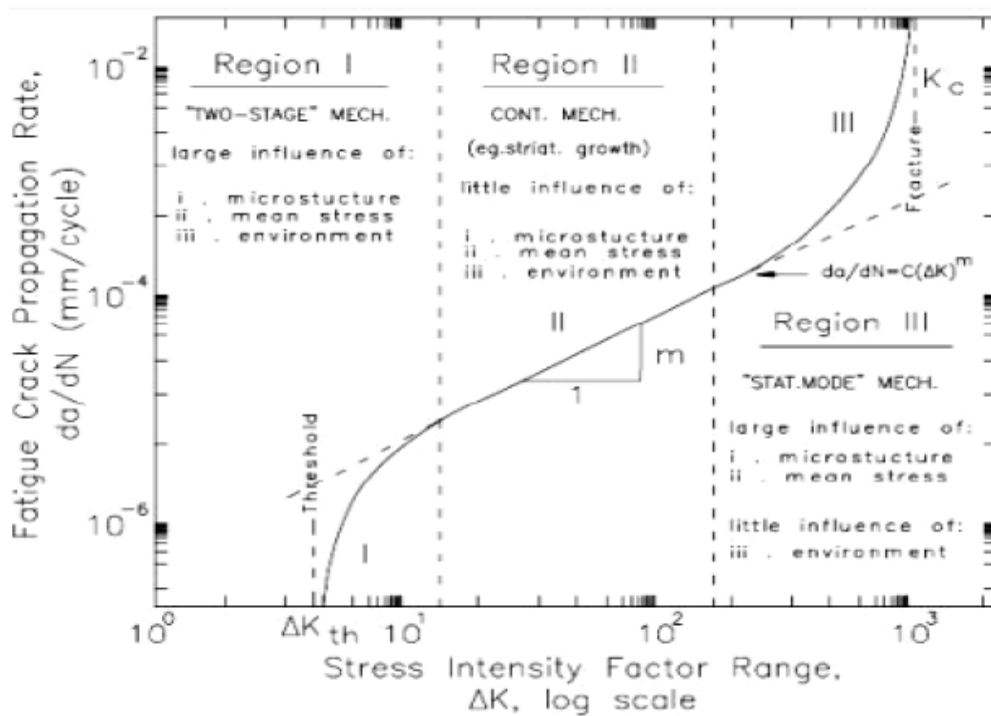
$da/dN$  = kecepatan perambatan retak

$\Delta K$  = range faktor intensitas tegangan

$K$  = harga kritis K

$R$  = rasio tegangan (min/max)

$C$  dan  $m$  = parameter pertumbuhan retak



Gambar 2.11 Kurva perambatan retak (Barsom dan Stanley, 1999)

#### 2.2.5.9 Kedalaman Retak Kritis

Panjang kedalaman retak yang telah melewati nilai retak kritis menunjukan struktur tersebut mengalami kelelahan. Pada matematis, dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut:

$$a_{cr} = \left( \frac{KIC}{\sigma_{max}\sqrt{\pi}} \right)^2 \quad (2.23)$$

#### 2.2.5.10 Analisa Umur Kelelahan

Hasil perhitungan perambatan retak ini umumnya ditunjukkan sebagai umur kelelahan dari struktur yang ditinjau. Dengan memberikan masukan berupa besar retak awal dan retak akhir akan diketahui jumlah batas siklus yang masih aman dengan mengintegalkan persamaan laju keretakan berikut :

$$N = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{C(\Delta K)^m} \quad (2.24)$$

dengan:

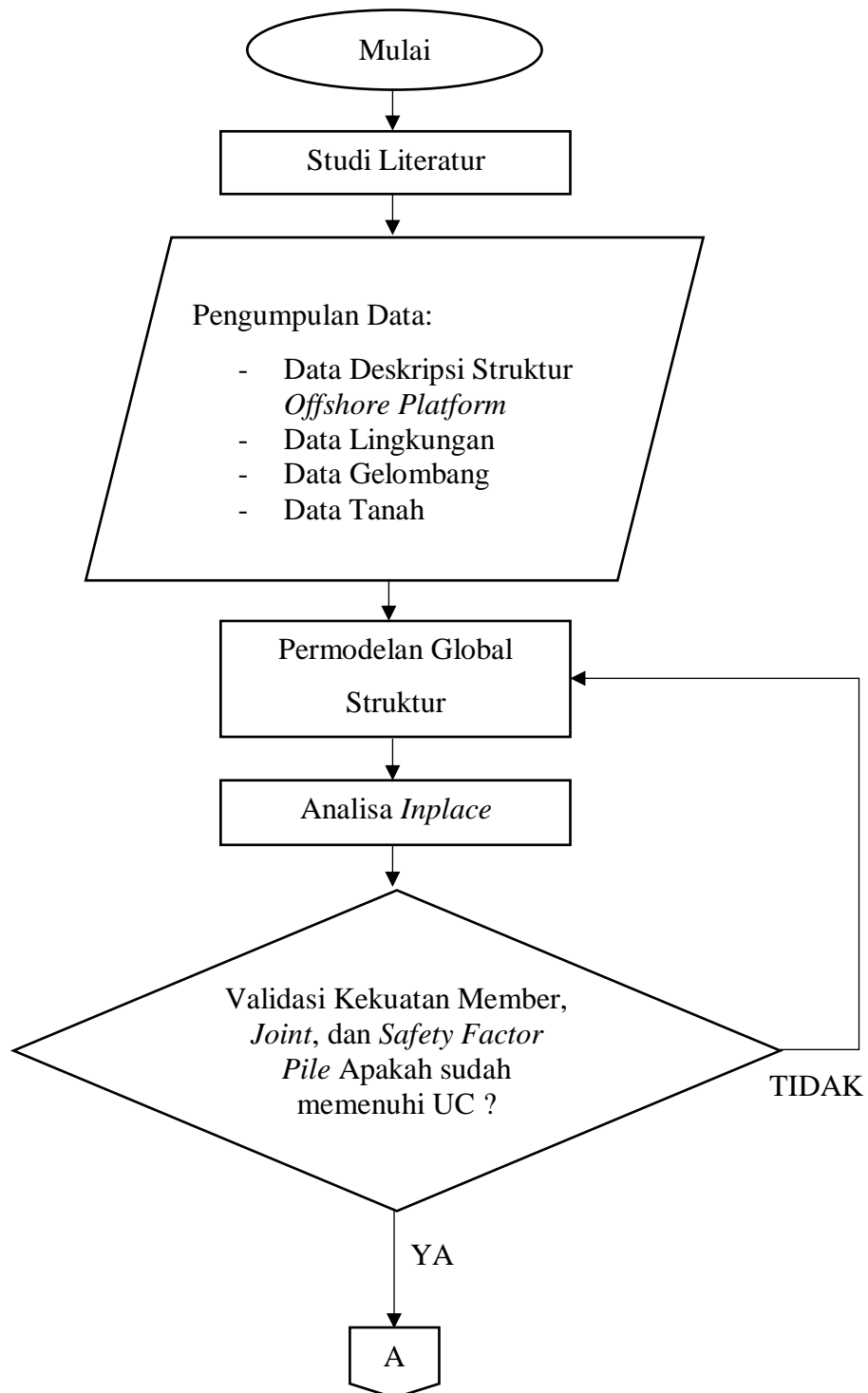
- $a_0$  = panjang retak awal (*initial crack*)
- $N$  = Jumlah *cycle*
- $a_f$  = panjang retak akhir (*final crack*)
- $\Delta K$  = perubahan *stress intensity factor*
- $C$  dan  $m$  = konstanta material

### BAB III

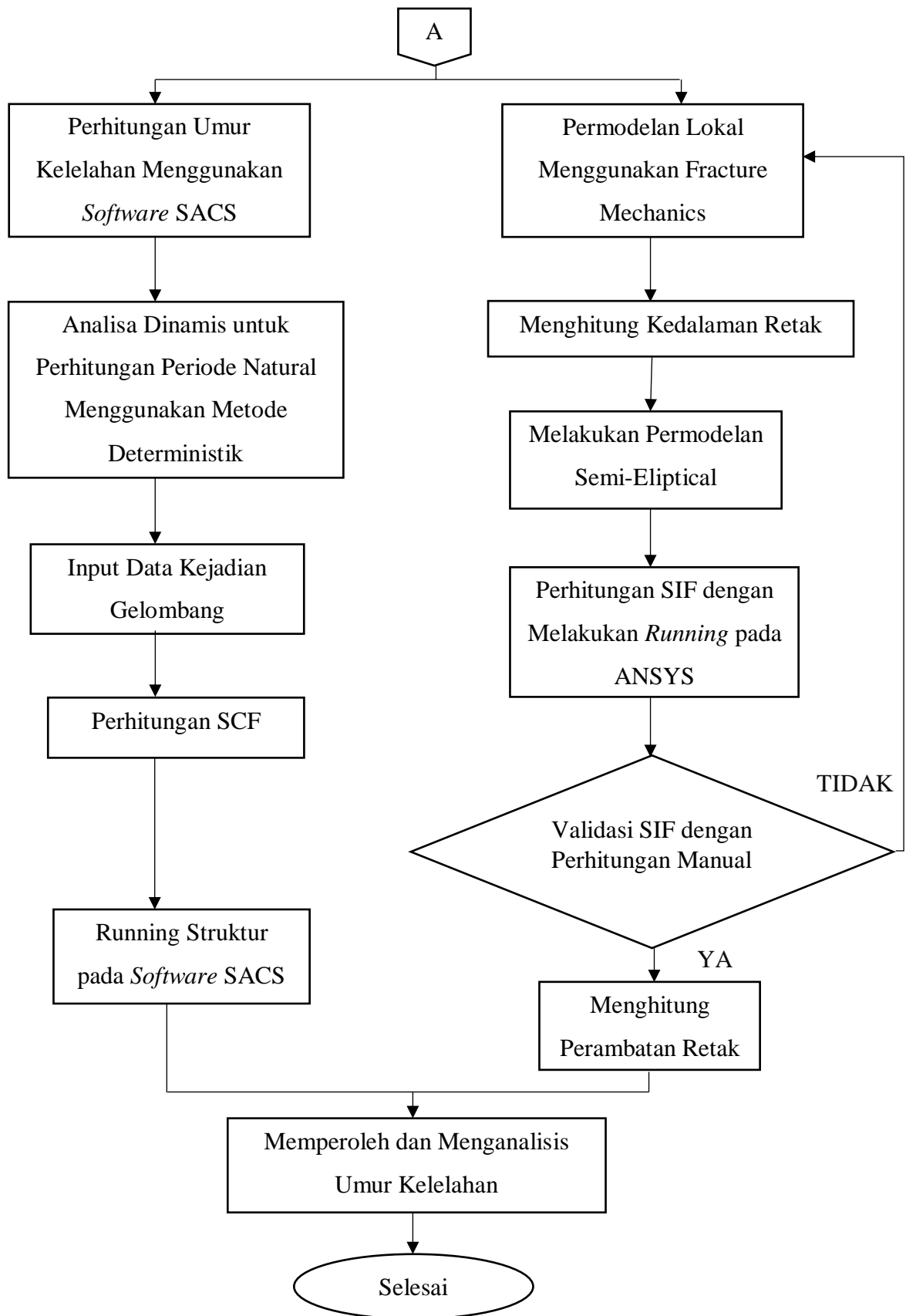
#### METODOLOGI PENELITIAN

##### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)



### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berikut penjelasan diagram alir yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini :

#### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis melakukan pembelajaran dan pengumpulan literatur yang digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas akhir.

#### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan oleh penulis dengan tujuan menunjang dalam menganalisa studi kasus yang dapat diambil dari data yang telah dikumpulkan seperti data struktur, lingkungan, dan inspeksi sebelumnya.

#### 3. Permodelan Global Struktur

Permodelan struktur digunakan sebagai objek penelitian tugas akhir yang dimodelkan menggunakan perangkat lunak SACS 5.7 V8i.

#### 4. Validasi Berat Struktur

Validasi dilakukan untuk meninjau ulang struktur apakah sudah memenuhi kesamaan atau tidak.

#### 5. Analisa *In-place*

Pada tahap ini, penulis melakukan analisa terhadap model struktur untuk menentukan kondisi tiap *member* pada tiap pembebanan yang diterima struktur.

#### 6. Validasi Kekuatan Member, *Joint*, dan *Safety Factor Pile* Apakah sudah memenuhi UC ?

Tahap ini dilakukan untuk melihat nilai dari *member*, *joint*, dan *safety factor* dari *pile* yang tertinggi.

#### 7. Perhitungan Umur Kelelahan

Perhitungan umur kelelahan ini menggunakan metode *cumulative damage* yang dibantu oleh perangkat lunak SACS.

#### 8. Permodelan Lokal *Joint*

Melakukan permodelan terhadap sambungan *tubular* pada *joint* menggunakan permodelan 3D dengan *software SolidWorks*.

#### 9. Penentuan Titik Acuan

Penentuan dilakukan dengan mengambil titik yang dapat mewakili daerah tegangan maksimum tersebut.

#### 10. Validasi Titik Acuan Retak

Melakukan validasi titik acuan retak dengan menghitung nilai  $K/SIF$ . Perhitungan ini menggunakan *software* ANSYS dan divalidasi dengan perhitungan manual nilai  $K$ .

#### 11. Menghitung Kedalaman Retak Kritis

Pada tahap ini, penulis melakukan perhitungan kedalaman kritis untuk mengetahui kemampuan struktur setelah mengalami retakan.

#### 12. Permodelan Retak *Semi-elliptical*

Penulis melakukan permodelan dengan menggunakan jenis retak semieliptical yang sudah tervalidasi pada titik acuan.

#### 13. Perhitungan SIF Menggunakan *Software* ANSYS

Pada perhitungan ini, penulis akan mengerjakan secara manual dan program ANSYS.

#### 14. Perhitungan Cepat Rambat Retak

Perhitungan ini dilakukan dengan 2 metode yaitu secara manual dan *running* menggunakan *software* ANSYS.

#### 15. Menghitung Umur Kelelahan

Pada tahap ini, akan didapatkan 2 umur kelelahan yaitu *cumulative damage* dan *fracture mechanic*.

#### 16. Kesimpulan dan Laporan

Kesimpulan akan didapatkan setelah analisis selesai dan menjawab semua rumusan permasalahan, lalu hasil yang ada dimasukkan ke dalam laporan analisis tersebut.

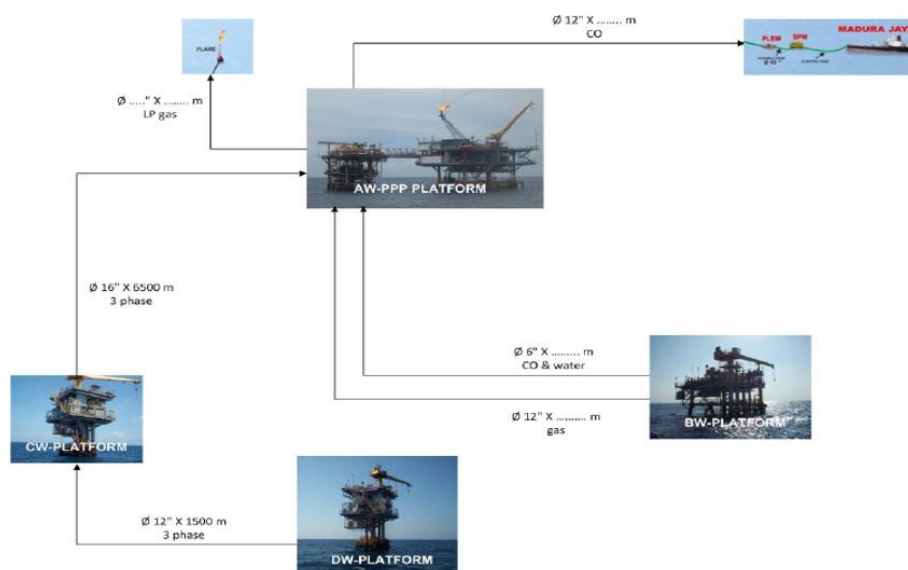
### 3.3 Data Struktur *Bravo Wellhead Platform*

Objek studi yang digunakan oleh penulis adalah Struktur *Bravo Wellhead Platform* yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. *Bravo Wellhead Platform* adalah jaket konvensional berkaki empat.



Gambar 3.2 Struktur *Bravo Wellhead Platform*

Merupakan platform penghasil minyak yang cukup besar pada awalnya dan bersifat *natural flow*. Terdapat 7 sumur di platform BW tetapi hanya BW-04 yang masih bekerja dan yang lainnya di nonatifikan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Bagian atas memiliki 2 level dengan dimensi rencana keseluruhan 58 ft dengan 44 ft. Jarak kaki dek adalah 35 ft sampai 40 ft. Ada 9 slot konduktor, 8 slot konduktor yang ada dan 1 slot konduktor masa depan dengan diameter 30 inci. Platform ini dirancang untuk mengakomodasi *Jack-Up Rig* untuk aktivitas pengeboran dan derek / krane untuk penanganan material.



Gambar 3.3 Schematic diagram lapangan poleng

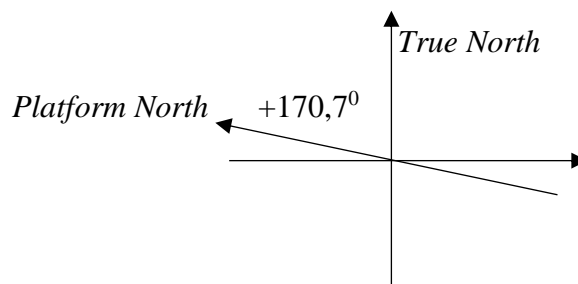
### 3.3.1 Lokasi Platform

Struktur *Bravo Wellhead Platform* terletak di *West Madura Offshore*. Koordinat *Bravo Wellhead Platform* adalah:

- *Latitude* : 6° 41' 09.08" Selatan
- *Longitude* : 112° 54' 36.34" Timur

### 3.3.2 Orientasi Platform

"*Platform North*" harus didefinisikan sebagai arah utara sumbu utama struktur. Perbedaan sudut antara "*Platform Utara*" dan "*True North*" adalah 170,7 derajat searah jarum jam seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.



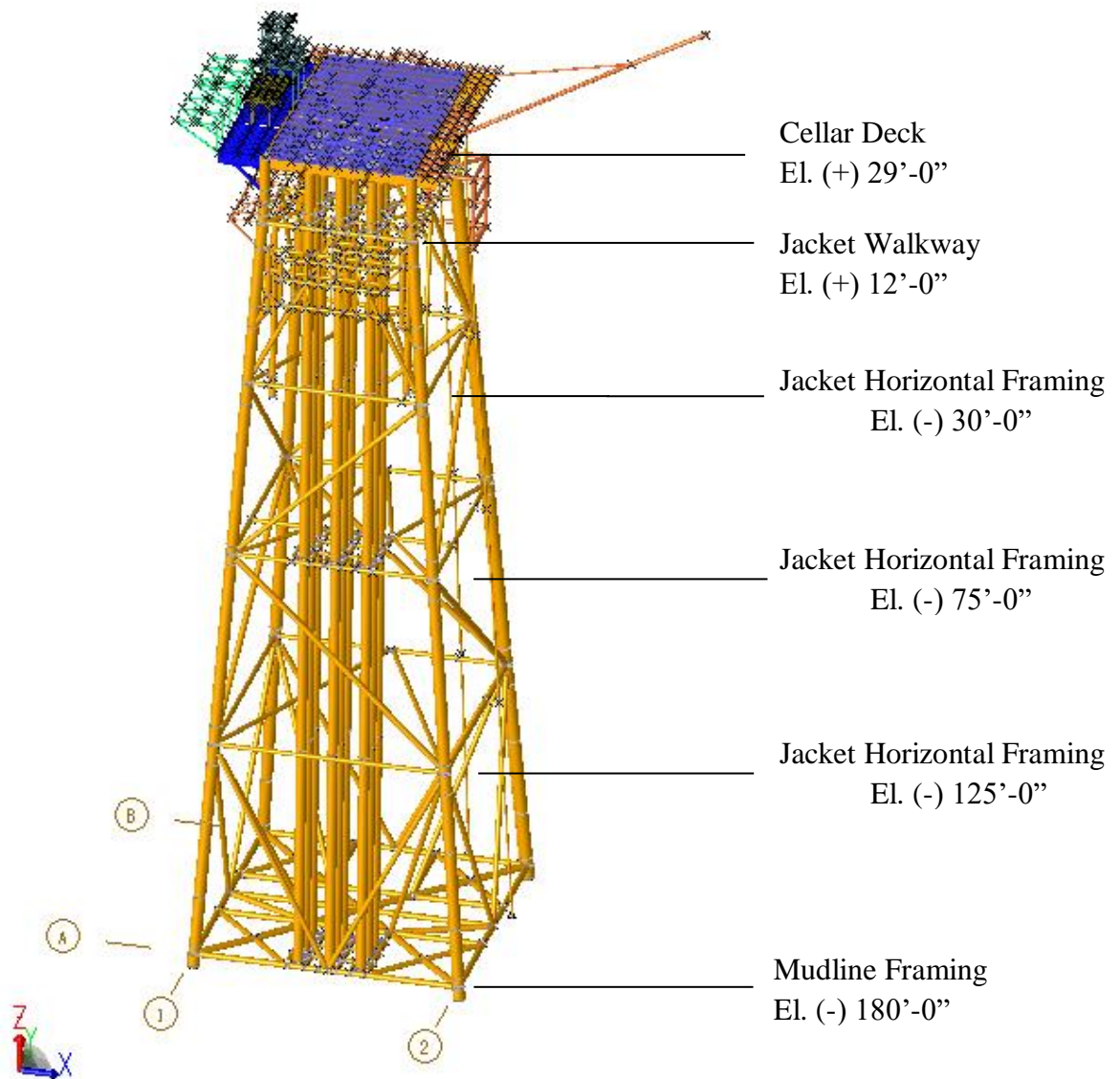
Gambar 3.4 Arah Orientasi *Offshore Fixed Platform*

### 3.3.3 Kedalaman Air

Datum referensi adalah *Mean Sea Level*. Kedalaman air di lokasi adalah 180,0 ft atau sama dengan 54,864 meter.

#### 3.3.3.1 Jacket

Jacket terdiri dari 4 kaki dengan dua *double battered leg* dan dua *single battered leg*, dengan 30" *Piles* dalam kaki jacket. Memiliki 5 (lima) *jacket horizontal frame, including the jacket walkway*. Jaket ini dirancang untuk menampung sump caisson 20 inci dan 3 (tiga) *risers*, terdiri dari 2 unit 6,625 inci OD dan 1 unit 12,75 inci tabung OD. Elevasi *jacket frame* ditunjukkan pada Gambar 3.5.



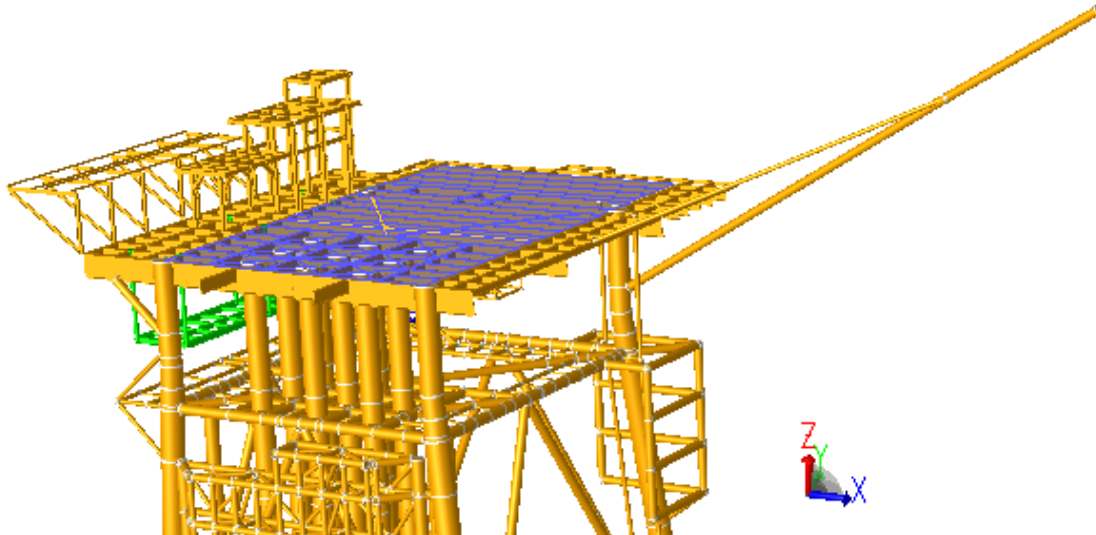
Gambar 3.5 *Bravo Wellhead Platform* Tampak Isometri

### 3.3.3.2 Deck

Bagian atas *Bravo Wellhead Platform* didukung dengan 4 kaki dek yang terintegrasi dengan pelat balok. *Topside* dek memiliki 2 dek tingkat yang terletak di

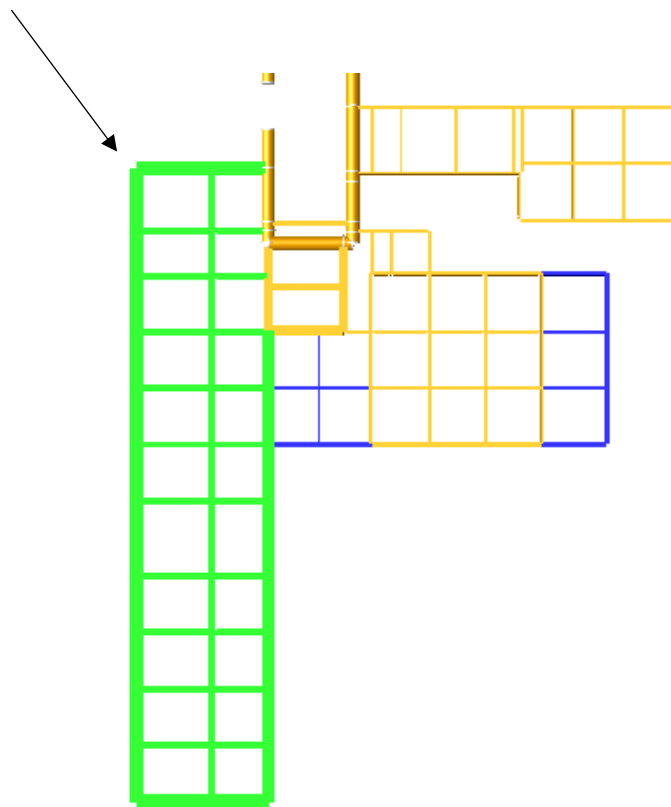
- Cellar Deck : EL. (+) 29'-0"
- Sub CellarDeck : EL. (+) 18'-7"
- EL. (+) 16'-8"

*Flare boom* dipasang di sisi timur platform el. (+) 29'-0 ". Tampilan sisi atas *Bravo Wellhead Platform* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.6 dan tampilan penambahan *sub-cellar deck* ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.6 *Bravo Wellhead Platform* Tampak Atas

Penambahan Sub-cellar deck baru



Gambar 3.7 Lokasi Mezzanine deck baru di *Bravo Wellhead Platform*

### 3.4 Parameter Desain

#### 3.4.1 Faktor Kontingensi

Kontingensi berat berikut harus digunakan untuk mencakup berat apapun atau beban bervariasi atau ketidakakuratan dalam teknik perancangan ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor Kontingensi (Berdasarkan *Offshore Standar* DNV-OS-H102)

Deskripsi	Kontingensi (%)
<i>Structural Self weight</i>	3

#### 3.4.2 Properti Material

Sifat mekanis bajanya adalah:

- *Young modulus*  $E = 29,000 \text{ ksi}$ ,
- *Shear modulus*  $G = 11,600 \text{ ksi}$
- *Poisson ratio*  $\nu = 0.3$
- *Volumetric mass*  $\rho = 490 \text{ lb/ft}^3$

Semua baja struktural yang digunakan dalam penelitian ini harus didasarkan pada spesifikasi berikut dan kekuatan hasil yang sesuai, ditunjukkan pada Tabel 3.2:

Tabel 3.2 Spesifikasi Baja Struktural

Deskripsi	Spesifikasi	Yield Stress (ksi)
Semua Tubular	ASTM A36	36

#### 3.4.3 Tegangan Ijin

Merangkum tegangan ijin yang dipertimbangkan untuk setiap analisis menurut API RP 2A-WSD, ditunjukkan pada Tabel 3.3 :

Tabel 3.3 Desain Tegangan yang Bekerja

Tipe Analisis	Kondisi	Tegangan Ijin Yang disyaratkan sesuai Pedoman
Analisis Struktural	Operasi 1 Tahun	Basic AISC-API
	Badai 100 Tahun	Basic AISC-API + 1/3 increase

### 3.4.4 Data Lingkungan

#### 3.4.4.1 Water Level

Berikut Tabel 3.4 *water level* yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan desain.

Tabel 3.4 *Platform Water Level*

Deskripsi	In-place	
	Operasi (ft)	Badai (ft)
Mean Sea Level (MSL)	180	180
Storm Surge (SS)	1.12	2.77
Highest High Water Level (HHWL)	2.56	2.56
Lowest Low Water Level (LLWL)	-3.38	-3.38
Max. Water depth (MSL+SS+HHWL)	183.68	185.33
Min. Water depth (MSL+LLWL-Storm surge)	175.50	173.85

#### 3.4.4.2 Kecepatan Angin

Tabel 3.5 menunjukkan kecepatan yang digunakan untuk desain struktural 1 jam angin berkelanjutan akan digunakan untuk beban angin perancangan.

Tabel 3.5 Kecepatan Angin

Angin	Periode Ulang			
	1 Tahunan		100 Tahunan	
1-hour wind	25.84 M/hour	11.55 m/s	38.01 M/hour	16.99 m/s

#### 3.4.4.3 Gelombang dan Arus

Untuk analisa *In-Place* beban gelombang dan arus dihasilkan dalam 8 arah pembebanan ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $270^\circ$  dan  $315^\circ$ ). Beban gelombang dan arus untuk kondisi operasi dan badai untuk setiap arah dihasilkan oleh SACS dalam *single load case*. Beban gelombang dihasilkan untuk kedalaman air minimum dan maksimum. Teori gelombang untuk perhitungan struktural menggunakan teori gelombang *Airy* untuk gelombang operasi 1 tahun dan menggunakan teori gelombang *Stoke's order 5th* untuk gelombang badai 100 tahun. Tabel 3.6 menampilkan data desain gelombang dan Tabel 3.6 menampilkan data arus di sekitar struktur *Bravo Wellhead Platform*.



Tabel 3.6 Data Gelombang

Parameter Gelombang	Periode Ulang			
	1-Tahun		100-Tahun	
Hmax (ft/s)	12.34 ft/s	3.76 m/s	30.05 ft/s	9.16 m/s
Periode (s)	5.81 sec		9.15 sec	

Tabel 3.7 Data Arus

Current	1-yr Return Period		100-ysr Return Period	
	ft/s	m/s	ft/s	m/s
Current El. 0% (Surface)	1.96	0.60	3.37	1.03
Current El. 10%	1.93	0.59	3.32	1.01
Current El. 20%	1.90	0.58	3.27	1.00
Current El. 30%	1.86	0.57	3.20	0.98
Current El. 40%	1.82	0.56	3.14	0.96
Current El. 50%	1.77	0.54	3.05	0.93
Current El. 60%	1.72	0.52	2.96	0.90
Current El. 70%	1.65	0.50	2.84	0.87
Current El. 80%	1.56	0.47	2.68	0.82
Current El. 90%	1.41	0.43	2.43	0.74
Current El. 100% (Bottom)	1.24	0.38	2.13	0.65

Catatan: Data kedalaman gelombang dan kedalaman air meter (m) dan diubah menjadi *feet* (ft). Satuan data kecepatan saat ini adalah meter per detik (m / s) dan diubah menjadi *feet* per detik (*feet* / detik).

#### 3.4.4.4 *Marine Growth*

data *marine growth* terakhir dari Laporan Akhir Inspeksi Bawah Air *Platform Bravo Wellhead* Poleng oleh PT AB, 2015. *Marine Growth* yang ditunjukkan pada Tabel 3.8 telah dipertimbangkan dari *mudline* ke permukaan dan diaplikasikan dengan ketebalan maksimal dari masing-masing elevasi berdasarkan laporan *Underwater Inspection*. Kepadatan *marine growth* adalah 83,33 lb / ft<sup>3</sup>.

Tabel 3.8 *Marine Growth Profile*

<b>Elevasi (-) ft.</b>	<b><i>Upper Zone</i> jarak dari <i>Mudline</i> (ft.)</b>	<b><i>Maximum Marine Growth Thickness</i> (in)</b>
MSL	180	2.0 *)
5	175	2.0 *)
10	170	3.5
15	165	2.0 *)
20	160	4.0
25	155	3.0
40	140	3.0
55	125	3.0
70	110	3.5
85	95	3.0
100	80	3.0
115	65	3.0
130	50	2.0
145	35	1.50
160	20	1.50
175	5	0.25

Catatan: \*) Masukan sebagai *marine growth* untuk disain (2 inch), tidak ada *marine growth* untuk elevasi ini.

Ketebalan *Marine growth* dimodelkan dalam software SACS sesuai dengan data pada Tabel 3.8. Member dengan ketebalan *marine growth* lebih besar dari 2 inch berdasarkan inspeksi bawah air merekomendasikan untuk dibersihkan. Member dengan ketebalan *marine growth* yang lebih tebal akan memiliki dampak gelombang yang lebih besar dan mempengaruhi hasil analisis kelelahan.

#### 3.4.4.5 *Current Blockage Factor*

Kecepatan saat ini di sekitar platform berkurang dari "arus bebas" yang ditentukan. Berdasarkan API Sect. 2.3.1.b, faktor untuk mengurangi "arus bebas" saat ini ditunjukkan pada Tabel 3.9 di bawah ini:

Tabel 3.9 *Current Blockage Factor*

Number of Legs	Heading	Factor
4	end-on	0.80
	diagonal	0.85
	broadside	0.80

#### 3.4.4.6 Faktor Kinematika Gelombang

API memungkinkan penggunaan faktor kinematika gelombang di kisaran :

- 0.85 – 0.95 untuk badai tropis
- 0.95 – 1.00 untuk badai tropis ekstra

dan faktor kinematik gelombang 1.00 digunakan untuk analisis kelelahan. Faktor 1.00 digunakan untuk analisis inplace kondisi operasi dan diterapkan secara otomatis oleh program *SACS SEASTATE*. Dan faktor 0.90 digunakan untuk analisis inplace kondisi badai.

#### 3.4.4.7 Data Sebaran Gelombang

Umur kelelahan struktur sangat dipengaruhi oleh data gelombang yang diterima oleh struktur. Data ini dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Jumlah Kejadian Gelombang Individual 100 Tahunan di Sekitar Platform

Significant Wave Height (ft)	Periode Gelombang (s)	Number of Waves Occurrences								Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
		315°	270°	225°	180°	135°	90°	45°	0°	
0,8200	2,541	82806	292128	4495824	11263740	362378	858938	67307182	1317144	85980140
2,4605	4,123	5670	11802	1272606	3975144	41310	122702	59298466	22034	64749734
4,1009	4,789	910	3064	180574	317748	8516	13430	13747482	2742	14274466
5,7413	5,224	0	2	45236	98292	524	198	2370530	24	2514806
7,3817	5,556	0	0	10106	19442	60	10	456690	0	486308
9,0221	5,819	0	0	2128	3976	0	4	76350	0	82458
10,663	6,034	0	0	422	4384	0	0	11924	0	16730
12,303	6,201	0	0	54	1450	0	0	2474	0	3978
Total		89386	306996	6006950	15684176	412788	995282	143271098	1341944	168108620

#### 3.4.5 Live Load

*Live load* diterapkan langsung pada *cellar deck*, *sub-cellar deck*, *jacket walkway*, dan *access platform baru*. Beban ini diterapkan di area dek kosong dengan peralatan. Beban hidup berikut dipertimbangkan untuk analisis platform selama kondisi operasi. sedangkan untuk kondisi badai, pengurangan 25% dipertimbangkan.

- *Live load on cellar deck* : 100 psf
- *Live load on sub-cellar deck* : 75 psf
- *Live load on jacket walkway* : 75 psf
- *Live load on access platform* : 50 psf

#### 3.4.6 ***Splash Zone***

Area splash zone berada pada elevasi antara (-) 9'-6" dan (+) 12'-0".

#### 3.4.7 ***Corrosion Allowance***

Semua member di splash zone harus memiliki ketebalan dinding tambahan 1/8 inci untuk analisa inplace sebagai antisipasi terhadap korosi yang mungkin terjadi.

#### 3.4.8 ***Dynamic Amplification Factor (DAF)***

*Dynamic Amplification Factor* adalah bilangan berdimensi yang menggambarkan berapa kali defleksi atau tekanan harus dikalikan dengan defleksi atau tekanan yang disebabkan oleh beban statis saat beban dinamis diterapkan pada struktur.

#### 3.4.9 ***Desain Umur Kelelahan***

Platform ini dipasang pada tahun 1977 dan dimaksudkan untuk memiliki masa pakai 10 tahun. Sudah beroperasi selama 41 tahun terakhir, membuatnya memiliki masa kerja 10 tahun yang tersisa. Oleh karena itu, umur layan minimum platform berdasarkan *API Recommended Practice 2A-WSD* tahun 2000 dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$L \geq (SF1 \times L1) + (SF2 \times L2)$$

$$\text{Joint fatigue life} \geq (1 \times \text{Umur Operasi}) + (2 \times \text{Umur Perpanjangan yang direncanakan})$$

$$\text{Joint Fatigue life} \geq (1 \times 41) + (2 \times 10)$$

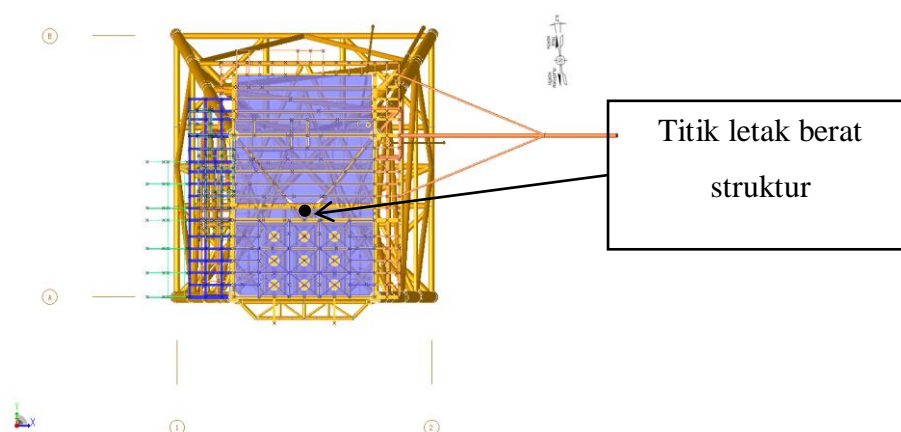
Maka dari itu, *Joint Fatigue Life* harus bisa bertahan lebih dari 61 tahun

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Permodelan Struktur

Analisis global platform dilakukan dengan menggunakan software SACS versi 5.7. Gambar 4.1 dibawah ini menunjukkan letak dari *center of gravity* (titik berat) dari struktur *jacket*. Letak titik berat struktur didapatkan dari hasil analisis SACS 5.7 pada file *sacst.bwplatform* pada bagian *summary of seastate generated dead and bouyancy loads*.



Gambar 4.1 Titik Letak Berat Struktur

Tabel 4.1 menampilkan optimasi COG bertujuan untuk menjadikan struktur sestabil mungkin. Jadi semakin mendekati nol nilai  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  maka semakin stabil berdasarkan *Handbook of Offshore Engineering – Chapter 10*. Kemudian untuk validasi *selfweight* DNV merekomendasikan toleransi dibawah 3% seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.1 Validasi COG Berdasarkan Offshore Standard DNV-OS-H102

Letak titik berat struktur ( <i>Center of Gravity</i> )		
Sumbu Koordinat	Output SACS 5.7	Perhitungan Manual
X	0,46	0,46
Y	1,19	1,19
Z	-75,64	-75,64

Tabel 4.2 Validasi *Selfweight* Berdasarkan *Offshore Standard* DNV-OS-H102, January 2012, Page 18 - Sec.3

Validasi	Report	Model	Selisih
Selfweight	810,17	828,68	2,23%

Struktur telah diinstal selama 41 tahun, dan tentunya struktur ini akan mengalami degradasi pada ketebalannya. Pada Tabel 4.3 ditunjukkan data ketebalan pada struktur sebelum beroperasi (tahap desain) dan sesudah beroperasi selama 41 tahun. Data ini diambil dari *report* “*Struture BW Platform Comple Inspection* tahun 2018” .

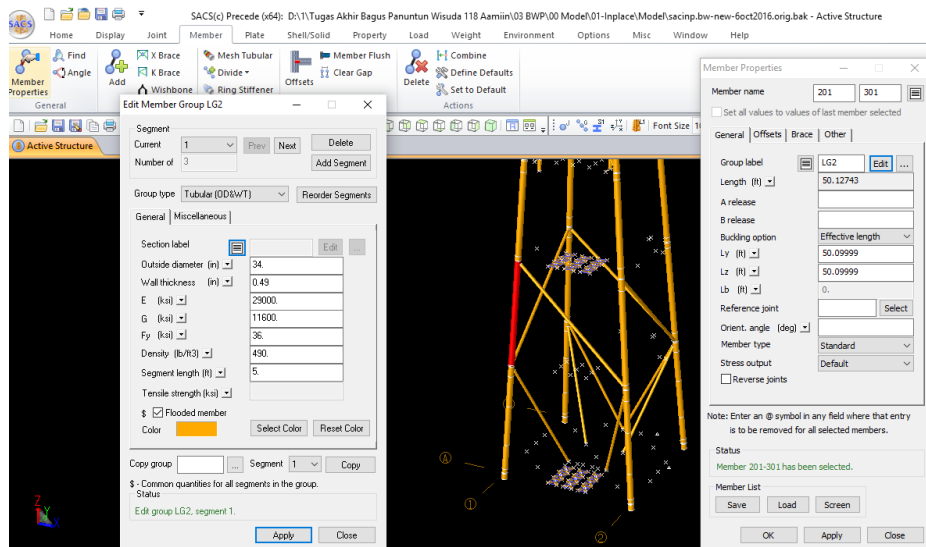
Tabel 4.3 Perbandingan *Wall Thickness*

Elevasi (feet)	Readings mm (setelah 41 Tahun)	Initial mm (awal)	Observasi
MSL	25,8	27,38	Splash Zone Sleeve
-15	25,6	26,547	Boat landing supt.
-30	25,8	26,116	Node
-55	12,9	14,479	Between node
-75	25,2	25,2	Node
-100	12,5	13,763	Between node
-125	25,5	25,816	Node
-150	13,0	13,316	Between node
-175	25,6	25,4	Node

#### 4.1.1 Permodelan *Jacket*

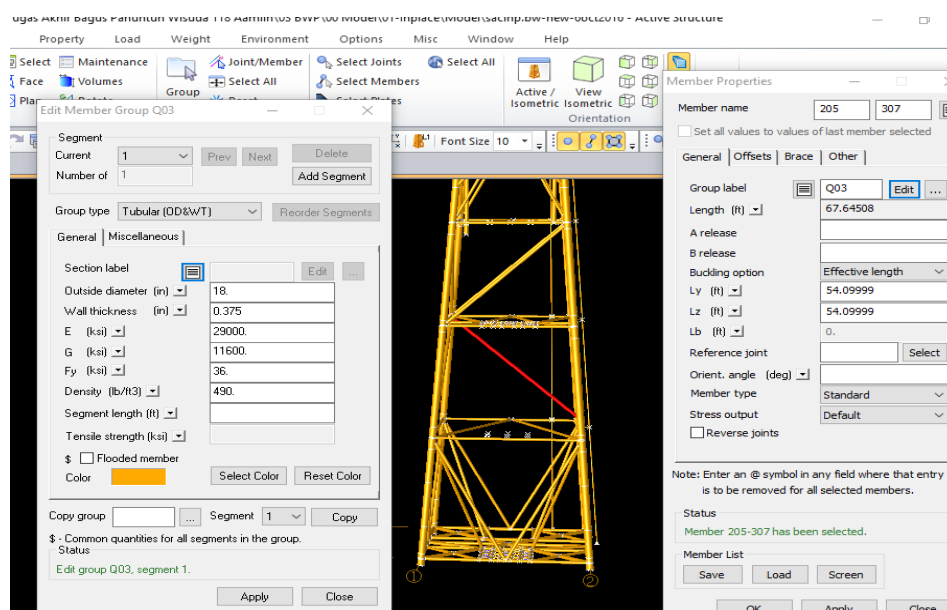
Untuk model analisis struktur platform *Bravo Wellhead*, tersedia gambar umum as-build menyediakan OD (Outside Diameter) member jaket. Data ketebalan struktur didapat dari laporan *inspkesi ultrasonic wall thickness* Bravo Wellhead Platform.

Keempat kaki *jacket (leg)* ini membentuk suatu segiempat dengan dimensi yang berubah hingga *mudline*, dengan kemiringan leg 1:14. Dimensi keempat *leg* sama pada bentang kedalaman (z) -14.813 ft hingga -180 ft yaitu sebesar 34” OD x 1” WT. Dibagian dalam *leg* terdapat *pile* sebesar 30” OD x 0.75” WT. *Pile* tersebut dipancang / penetrasi sampai kedalaman 220 ft di bawah *mudline* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2



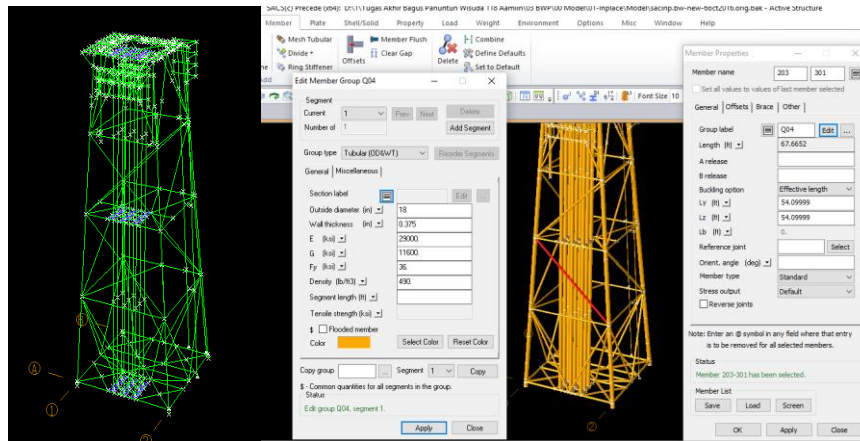
Gambar 4.2 Permodelan *jacket leg* dan *Input* data dimensi tubular pada tiap elevasi

Kaki *jacket* memiliki 5 (lima) penahan lateral (*horizontal framing*) yaitu pada elevasi (+) 12 ft, (-) 30 ft, (-) 75 ft, (-) 125 ft, dan (-) 180 ft seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. Dimensi penahan lateral berbeda di setiap kedalaman yang bervariasi dari 15.75" OD – 18" OD. Struktur *jacket* untuk anjungan ini juga didukung oleh penahan vertikal tambahan yang bervariasi tiap level elevasinya. Untuk elevasi *jacket level 1* berbentuk *K-Brace Down*, Untuk elevasi *jacket level 2* berbentuk *Diagonal Up*, Untuk elevasi *jacket level 3* berbentuk *Diagonal Down*, Untuk elevasi *jacket level 4* berbentuk *K-Brace Up*. *Bracing* ini berfungsi sebagai penguat struktur *jacket* dan juga sebagai pelindung peralatan *conductor* yang berada di bagian dalam *jacket*.



Gambar 4.3 Permodelan *bracing* di tiap *elevasi jacket* dan *input* dimensi baja tubular

Jaket terdiri dari 4 kaki, dengan piles 30 inch di kaki jaket. Memiliki 5 (lima) *jacket horizontal frame*, termasuk *jacket walkway*. Jaket ini dirancang untuk menampung *sump caisson* 20 inci dan 3 (tiga) *risers*, terdiri dari 2 unit 6,625 inci OD dan OD 12,75 inci. Detail lengkap struktur *jacket* ditunjukkan pada Gambar 4.4.

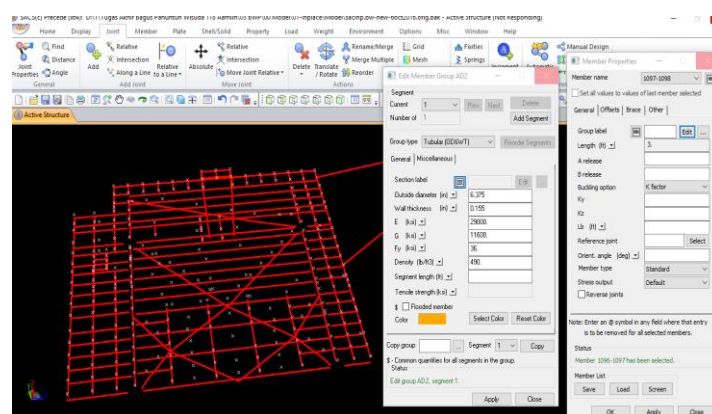


Gambar 4.4 Detail permodelan struktur *Jacket Bravo Wellhead Platform*

#### 4.1.2 Permodelan *Topside*

Bagian atas memiliki 2 level dengan dimensi rencana keseluruhan 58 ft dengan 44 ft. Jarak kaki dek adalah 35 ft sampai 40 ft. *Platform* ini dirancang untuk mengakomodasi *Jack-Up Rig* untuk aktivitas pengeboran dan derek / krane untuk penanganan material seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5. Bagian atas ini memiliki 2 *deck* tingkat yang terletak di:

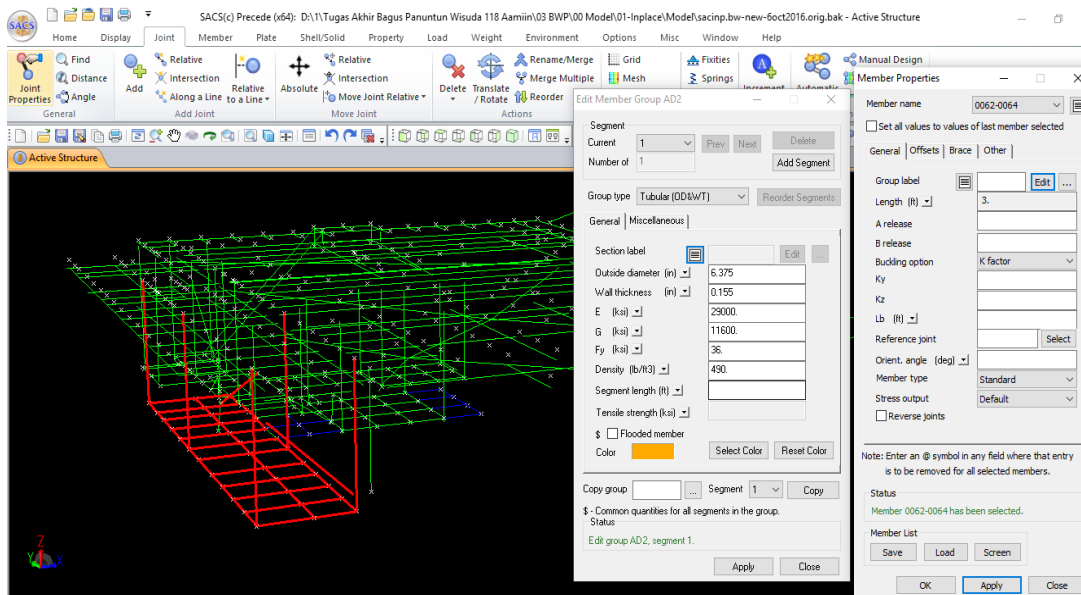
1. Cellar Deck : EL. (+) 29'-0 "



Gambar 4.5 Detail model cellar deck dan input data member properties dari *data as build* (Autocad)

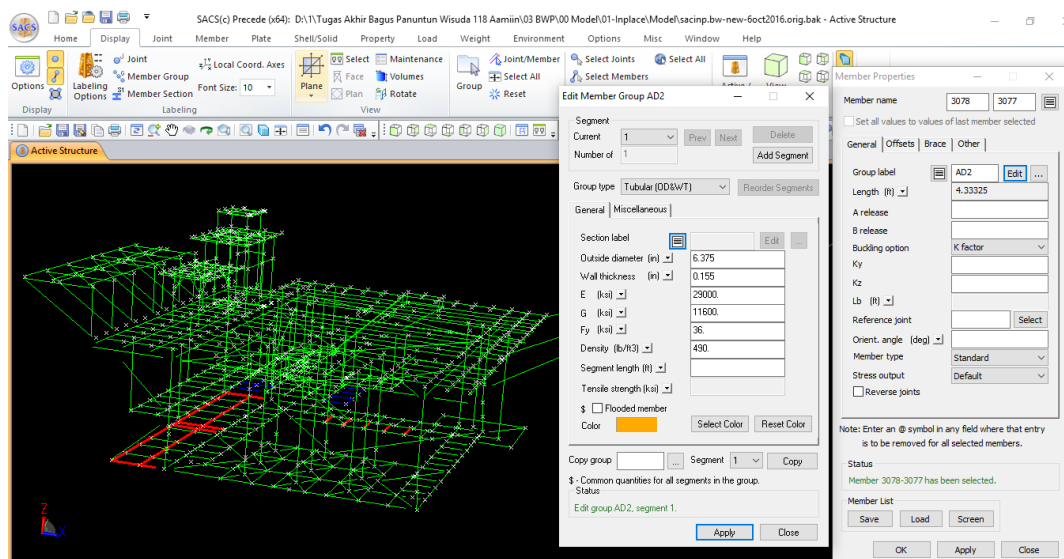
2. Sub-Cellar Deck : EL. (+) 18'-7 "





Gambar 4.6 Detail model sub-cellular deck dan input data member properties dari *data as build* (Autocad)

Flare boom dipasang di sisi timur platform. el. (+) 29'-0".



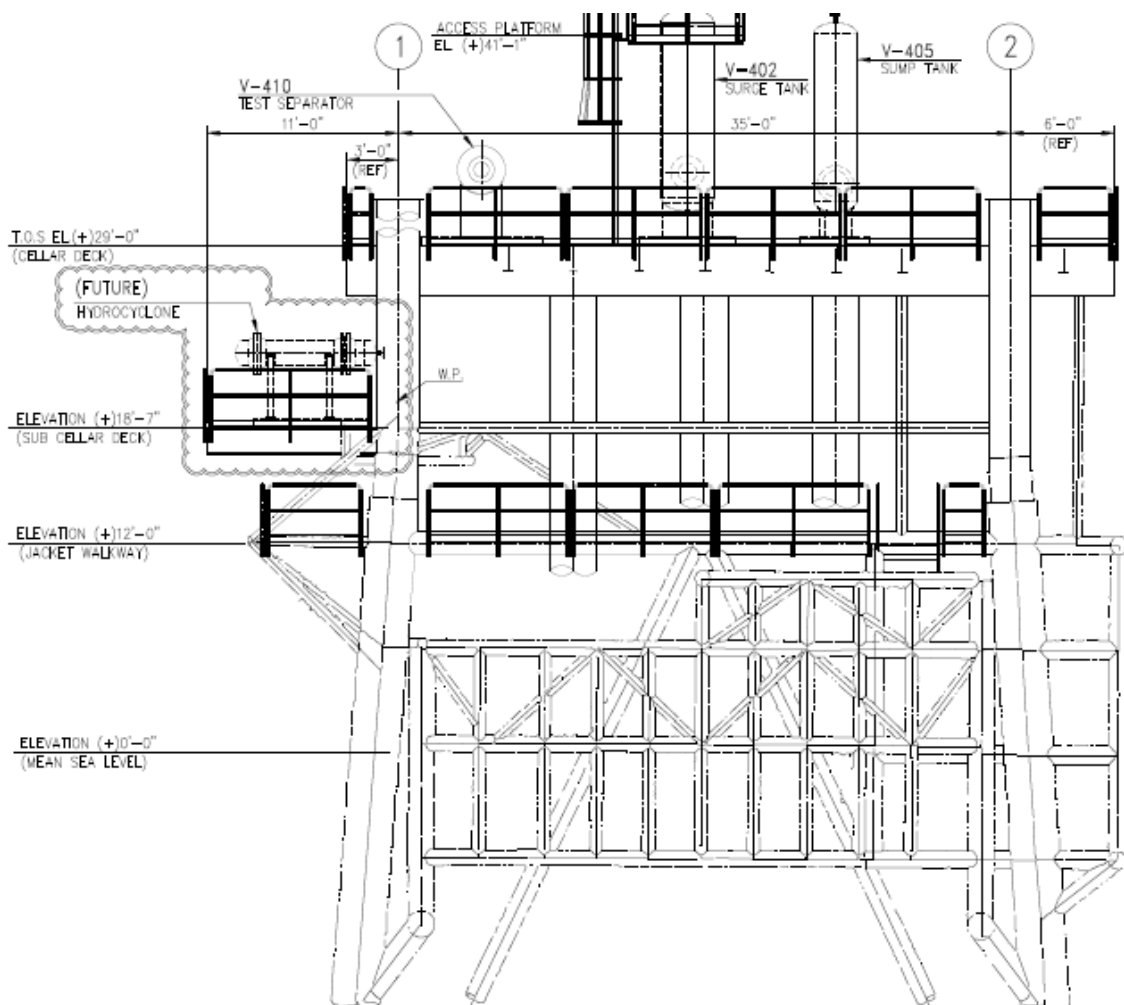
Gambar 4.7 Detail lengkap Struktur *Topside Bravo Wellhead Platform* setelah dimodelkan berdasarkan data *as build* (Autocad)

#### 4.1.3 Permodelan *Hydrocyclone's Support Structur*

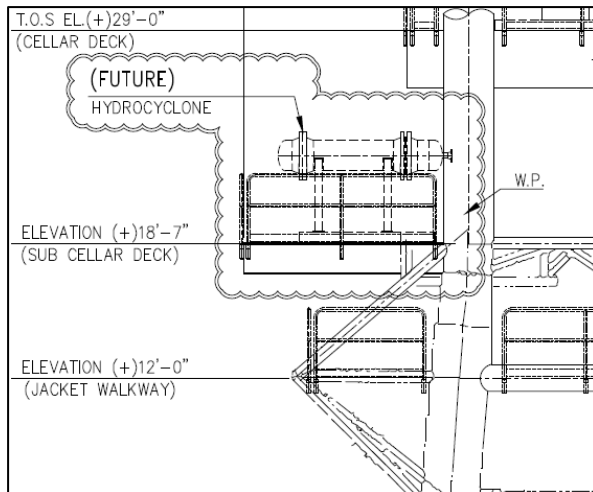
Detail spesifikasi dari *hydrocyclone* yang dipindahkan dari cellar deck ke area sub-cellar deck ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Detail Spesifikasi equipment *Hydrocyclone*

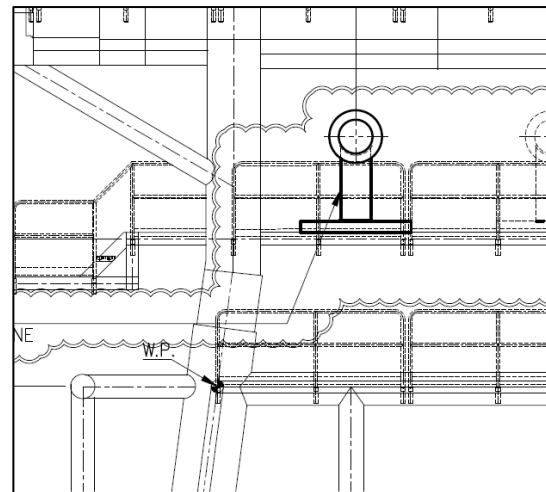
Deskripsi	Desain	Operasi	Dimensi
Hydrocyclone PSV-404	Kapasitas Katup : 52 USGPM		D 18 ft x 6 ft 7 inch
	Pressure : 260 Psig	Tekanan : 100 Psig	
	Temperature : 85 °F	Temperature : 85 °F	
	Orifice Area : - inch <sup>2</sup>		
	Fluida : Gas Hydrocarbon		
	Merek : Farris Engineering		
	Type : Conventional		
	Model : 26DA 33 - 120 / 1" x 1"		
	Nomor Seri : 433244 - 1 - KE		
	Tahun Pembuatan : 2000/2001		



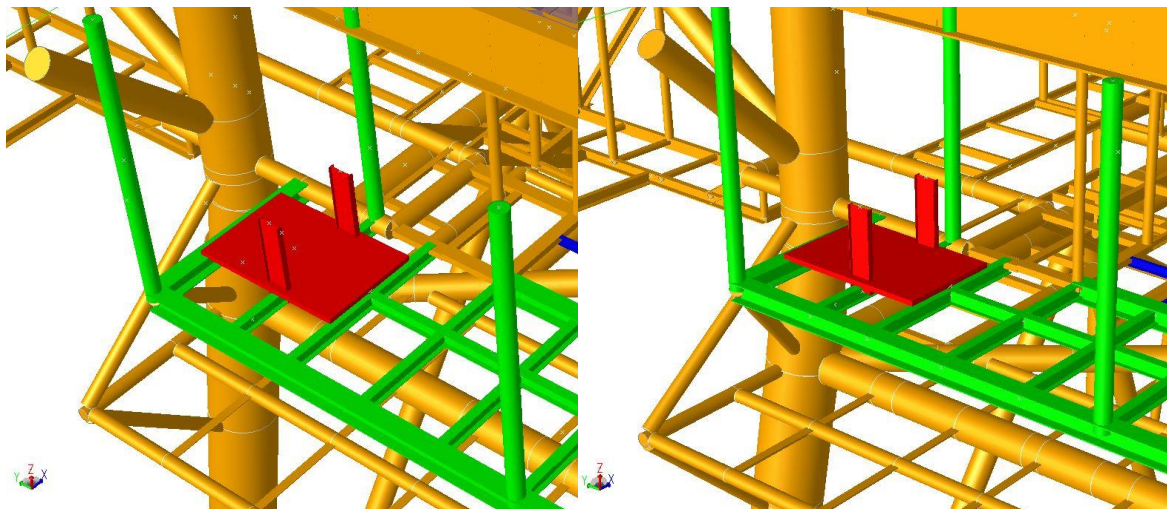
Gambar 4.8 Detail equipment tampak samping (South)



a. Perletakkan equipment Hydrocyclone  
Tampak Samping (South)



b. Perletakkan equipment Hydrocyclone  
Tampak Samping (West)



Gambar 4.9 Perletakkan Model Support Structure di Sub-Cellar Deck

Dengan mengacu pada basis desain maka untuk permodelan support struktur equipment Hydrocyclone seperti pada Gambar 4.9 diletakkan di area *sub-cellar deck* dengan menggunakan properti material M10 x 9.

## 4.2 Pembebanan

Struktur anjungan ini menerima berbagai macam kondisi pembebanan seperti berat sendiri, beban mati, beban hidup, dan beban lingkungan. Data pembebanan diambil dari gambar struktural *Bravo Wellhead Platform* dan parameter desain.

#### 4.2.1 Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang keberadaannya di platform bersifat permanen dan akan ada pada semua kombinasi pembebanan. Pada anjungan ini, yang termasuk beban mati adalah berat sendiri struktur, beban dek, dan beban tambahan.

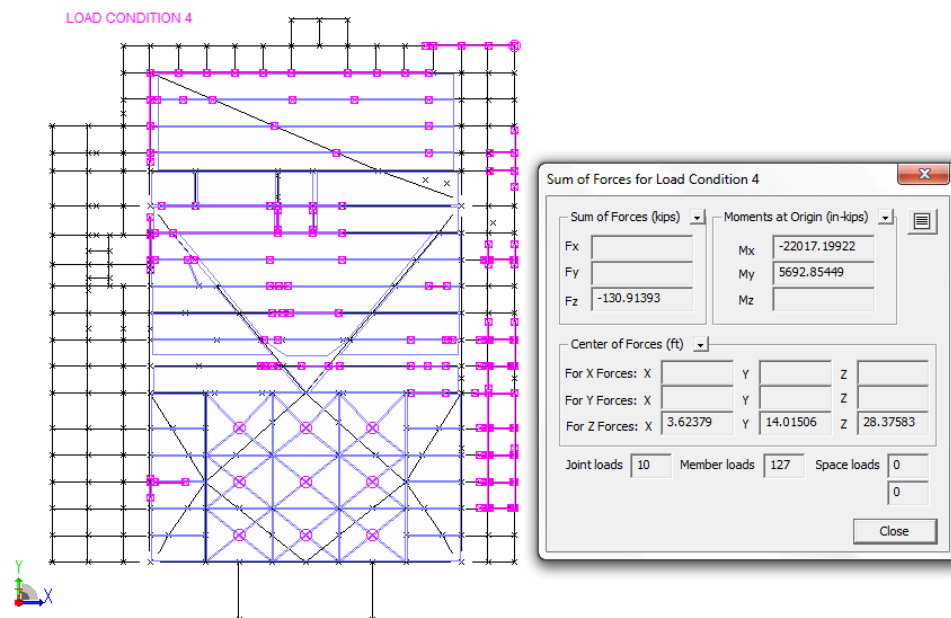
##### 4.2.1.1 Berat Sendiri (*Selfweight*) Struktur

Berat sendiri struktur diperhitungkan secara otomatis oleh SACS dengan memasukkan input yang diminta. Beberapa input data untuk perhitungan otomatis berat sendiri model struktur diantaranya:

1. Berat jenis baja, sebesar  $7850 \text{ kg/m}^3$ .
2. Berat jenis air laut, sebesar  $1025 \text{ kg/m}^3$  pada kondisi standar.
3. Kerapatan air untuk berat struktur nominal :  $64,4 / 1,00 = 64,4 \text{ lb/ft}^3$

##### 4.2.1.2 Beban Dek

Beban yang termasuk dalam beban dek adalah berat dari struktur dek dan berat dari semua *equipment* yang ada diatas dek seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Seluruh beban dek dikategorikan kedalam beban mati karena *platform* ini hanyalah suatu sistem pendukung sehingga semua *equipment* yang ada diatas dek dianggap statis dan dianggap tidak ada beban hidup yang signifikan diatas dek.



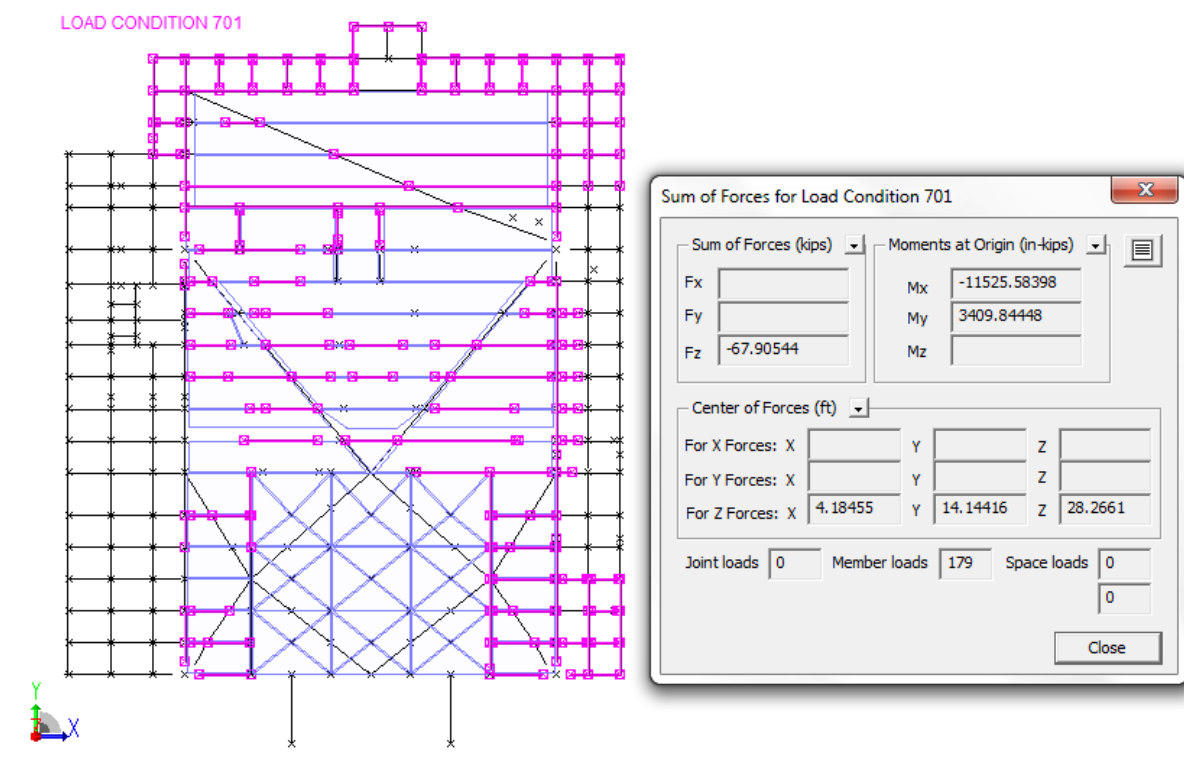
Gambar 4.10 *Load Condition 4 : Equipment Load (Existing) pada Cellar Deck (+) 29'-0'*

#### 4.2.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang keberadaan dan besarnya dapat berubah bergantung pada kondisi yang terjadi. Pada anjungan ini yang termasuk beban hidup adalah beban hidup *deck*, beban angin, beban gelombang, beban arus. Karena ketidakpastian beban hidup cukup besar maka pada perhitungannya, beban hidup harus diperhitungkan untuk berbagai arah dan diperhitungkan dengan faktor pengali tertentu. Analisis berikut menggunakan 8 arah (setiap  $40^\circ$ ) untuk mendapatkan kondisi pembebanan yang menghasilkan kondisi paling berbahaya bagi struktur.

##### 4.2.2.1 Beban Hidup pada Dek

Beban hidup pada dek dapat terjadi akibat adanya proses produksi pada dek, beban hidup diasumsikan merata pada lokasi-lokasi tertentu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 *Load Condition 13 : Live Load at Cellar Deck*

##### 4.2.2.2 Beban Angin

Beban angin bekerja pada platform di bagian atas atau beban yang mengenai bagian atas platform yang ada di atas permukaan air laut. Daerah yang dianggap mengalami beban

angin adalah daerah di sekitar dek. Berdasarkan data parameter desain, perhitungan beban angin menggunakan data angin desain pada Tabel 3.5.

#### 4.2.2.3 Beban Gelombang dan Arus

Beban gelombang dan arus merupakan beban lingkungan yang berasal dari pergerakan air laut. Data gelombang berupa tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang telah diberikan pada Tabel 3.6. Data arus berupa kecepatan arus pada berbagai kedalaman telah diberikan pada Tabel 3.7.

##### 1. Pemilihan Teori gelombang

Pemilihan teori gelombang dilakukan berdasarkan API RP2A 21<sup>th</sup> edition (WSD) untuk kondisi operasional dan kondisi ekstrem. Karena gelombang dan arus yang dihitung arahnya sejajar, maka perlu dihitung besarnya *apparent wave period*. Besarnya *apparent wave period* dapat dihitung dengan Gambar 4.12 apabila nilai  $d/gT^2 > 0,01$ .

###### a. Kondisi Operasional

Diketahui data sebagai berikut :

- $d = 180 \text{ ft}$
- $g = 32,175 \text{ ft/sec}^2$
- $T = 5,81 \text{ sec}$
- $H = 12,34 \text{ ft}$

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{180}{32,175 \times 5,81^2} = 0.168492 > 0,01$$

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{12,34}{32,175 \times 5,81^2} = 0.011361$$

Dengan memplot nilai  $d/gT^2$  dan  $H/gT^2$  pada grafik Gambar 4.12, dapat disimpulkan bahwa bisa menggunakan Teori Gelombang *linear/airy*.

###### b. Kondisi Badai (*Storm*)

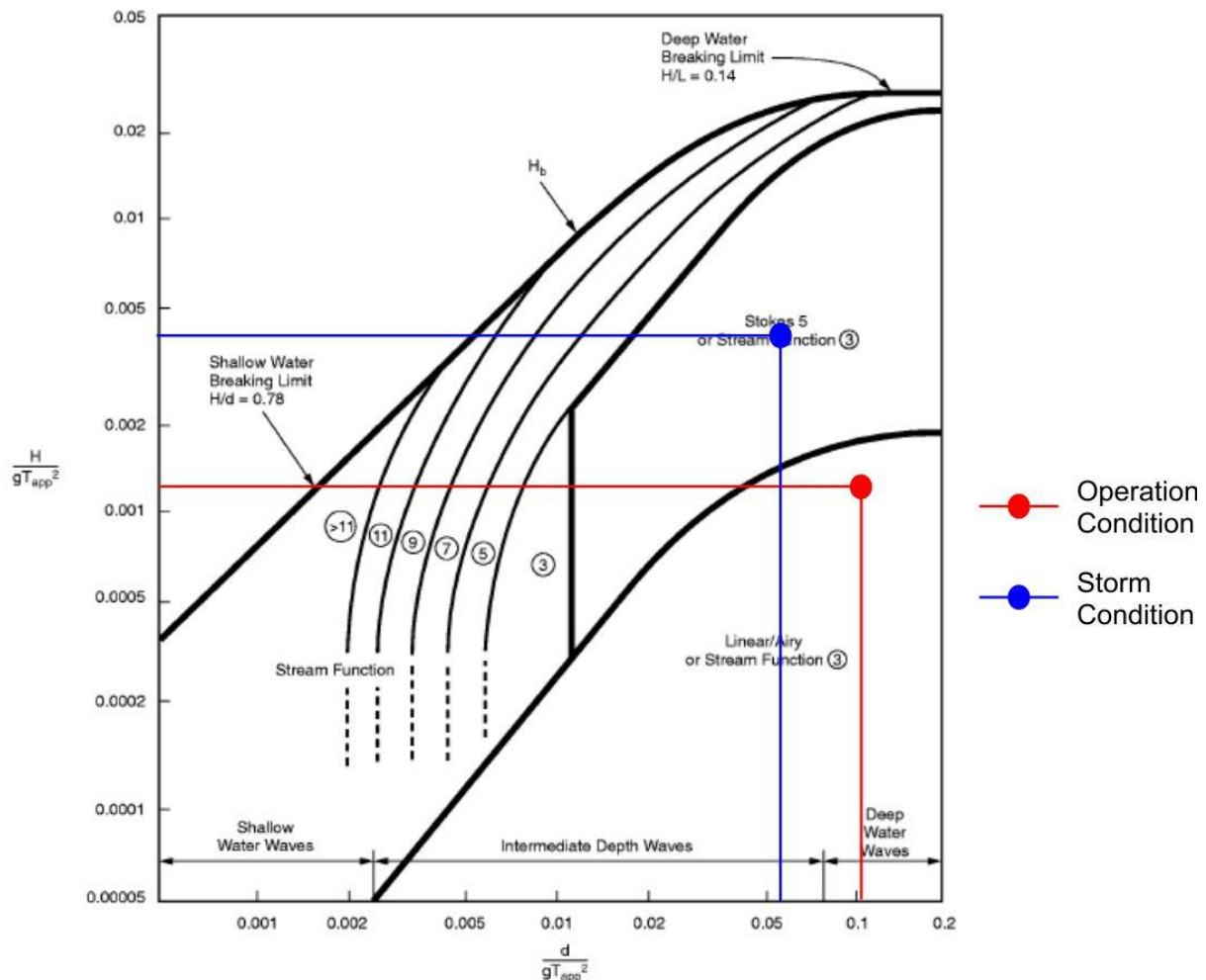
Diketahui data sebagai berikut :

- $d = 180 \text{ ft}$
- $g = 32,175 \text{ ft/sec}^2$
- $T = 9,15 \text{ sec}$
- $H = 30,05 \text{ ft}$

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{180}{32,175 \times 9,15^2} = 0.067934 > 0,01$$

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{12,34}{32,175 \times 9,15^2} = 0.004580$$

Dengan memplot nilai  $d/gT^2$  dan  $H/gT^2$  pada grafik Gambar 4.12, dapat disimpulkan bahwa bisa menggunakan Teori Gelombang *Stokes 5<sup>th</sup> Order*.



Gambar 4.12 Validasi Teori Gelombang (API RP 2A-WSD tahun 2000)

## 2. Check Validitas Persamaan Gaya Hidrodinamik

API RP2A 21<sup>st</sup> edition (WSD) menyebutkan bahwa perhitungan gaya hidrodinamik akibat gelombang dan arus dapat menggunakan persamaan Morison apabila nilai perbandingan antara panjang gelombang dengan diameter elemen ( $D/\lambda$ ) lebih kecil dari 0,2.

### a. Kondisi Operasional

Diketahui data sebagai berikut :

- $D = 34''$  atau 2,5 ft

$$- g = 32,175 \text{ ft/sec}^2$$

$$- T = 5,81 \text{ sec}$$

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{32,175 \times 5,81^2}{2\pi} = 172,9462$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{2,5}{172,9462} = 0,01445$$

Karena nilai  $(D/\lambda) = 0,01445 < 0,2$  maka persamaan Morison dapat digunakan

#### b. Kondisi Operasional

Diketahui data sebagai berikut :

$$- D = 34'' \text{ atau } 2,5 \text{ ft}$$

$$- g = 32,175 \text{ ft/sec}^2$$

$$- T = 9,15 \text{ sec}$$

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{32,175 \times 9,15^2}{2\pi} = 428,9444$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{2,5}{428,9444} = 0,005828$$

Karena nilai  $(D/\lambda) = 0,005828 < 0,2$  maka persamaan Morison dapat digunakan.

Dengan input utama seperti tinggi gelombang, periode gelombang, arah, pemilihan teori gelombang, *wave kinematic factor*, dan kecepatan arus pada beberapa kedalaman air, maka SACS akan menghitung secara otomatis besarnya beban gelombang dan arus yang terjadi.

#### 4.2.2.4 Beban Equipment dan Perpipa

Berat semua peralatan, perpipa, listrik, instrumen dll. Didefinisikan sebagai beban peralatan. Peralatan dan berat perpipa digunakan untuk desain platform.

#### 4.2.2.5 Rangkuman Berat (*Weight Summary*)

Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 menunjukkan berat struktural yang dihasilkan selama analisis struktural untuk masing-masing kondisi operasi dan kondisi badai.



Tabel 4.5 Rangkuman Berat Struktural Selama Analisa *In-place* pada Kondisi Operasi

No.	Load Condition	Description	Operating			
			Net Weight (kips)	Weight Allowance	Gross Weight (kips)	SACS Output Weight (kips)
BASIC LOAD CASE						
1	101	Self-weight (at Max. Water Depth for Operating Condition).	810,17	1,05	850.680	850.680
2	102	Self-weight (at Min. Water Depth for Operating Condition).	832,18	1,05	873.790	873.790
3	3	Non Generated Dead Load (Existing)	29.61	1,05	31.091	31.091
4	4	Equipment Load (Existing)	155.81	1,05	163.596	163.596
5	5	Deck Appurtenances (Existing)	52.71	1,05	55.349	55.349
6	6	Jacket Appurtenances (Existing)	159.71	1,05	167.696	167.696
7	701	Live Load 100 psf at Cellar Deck	67.91	1,00	67.905	67.905
8	702	Live Load 75 psf at Jacket Walkway	56.65	1,00	56.652	56.652
9	703	Live Load 75 psf at Sub-Cellar Deck	9,65	1,00	9.652	9.652
10	801	Equipment Load (New)	32.89	1,20	39.463	39.463
11	802	Piping Load (New)	22.39	1,20	26.868	26.868
12	803	Live Load (New)	26,28	1,00	26.280	26.280
13	804	Deck Appurtenances (New)	8,68	1,20	10.412	10.412
14	805	Live Load at Access Platform	12.25	1,00	12.252	12.252
15	806	Appurtenances at Access Platform	0,89	1,20	1.068	1.068
16	11	Crane Self weight (Un-operational)	40,00	1,00	40,00	40.000
17	12	Crane Boom Rest (Un-operational)	4,70	1,00	4,70	4.700
18	901	Live Load ad dog house extension (New)	12.859	1,00	12.859	12.859
SUBTOTAL WEIGHT						
TOTAL CRANE WEIGHT (CRN) : [11] + [12] =						44.70
TOTAL LIVE LOAD (LL-EXST) : [701] + [702] + [703] =						134.21.00
TOTAL ADDITIONAL LOAD (ADD) : [801] + [802] + [803] + [804] + [805] + [806]+[901] =						129.20.00
TOTAL TOPSIDE WEIGHT FOR OPERATING CONDITION (TOP1) : [3]+[4]+[5]+[LL-EXST]+[CRN]+[ADD] =						545.29.00
TOTAL WEIGHT						
TOTAL WEIGHT AT MAXIMUM WATER DEPTH - OPERATING CONDITION (1100) : [101] + [TOP1] + [6] =						1563.66
TOTAL WEIGHT AT MINIMUM WATER DEPTH - OPERATING CONDITION (1200) : [102] + [TOP1] + [6] =						1586.77

Tabel 4.6 Rangkuman Berat Struktural Selama Analisa *In-place* pada Kondisi Badai

No.	Load Condition	Description	Storm			
			Net Weight (kips)	Weight Allowance	Gross Weight (kips)	SACS Output Weight (kips)
BASIC LOAD CASE						
1	201	Self-weight (at Max. Water Depth for Storm Condition)	806.91	1,05	847.257	847.257
2	202	Self-weight (at Min. Water Depth for Storm Condition)	825.20	1,05	866.463	866.463
3	3	Non Generated Dead Load (Existing)	29.61	1,05	31.091	31.091
4	4	Equipment Load (Existing)	155.81	1,05	163.596	163.596
5	5	Deck Appurtenances (Existing)	52.71	1,05	55.349	55.349
6	6	Jacket Appurtenances (Existing)	159.71	1,05	167.696	167.696
7	701	Live Load 100 psf at Cellar Deck	67.91	0,75	50.929	50.929
8	702	Live Load 75 psf at Jacket Walkway	56.65	0,75	42.489	42.489
9	703	Live Load 75 psf at Sub-Cellar Deck	9.65	0,75	7.239	7.239
10	801	Equipment Load (New)	32.89	1,20	39.463	39.463
11	802	Piping Load (New)	22.39	1,20	26.868	26.868
12	803	Live Load (New)	26.28	0,75	19.710	19.710
13	804	Deck Appurtenances (New)	8.68	1,20	10.412	10.412
14	805	Live Load at Access Platform	12.25	0,75	9.189	9.189
15	806	Appurtenances at Access Platform	0.89	1,20	1.068	1.068
14	11	Crane Self weight (Un-operational)	40.00	1,00	40.000	40.000
15	12	Crane Boom Rest (Un-operational)	4.70	1,00	4.700	4.700
16	901	Live Load ad dog house extension (New)	12.859	1,00	12.859	12.859
SUBTOTAL WEIGHT						
TOTAL CRANE WEIGHT (CRN) : [11] + [12] =						44.70
TOTAL LIVE LOAD (LL-EXST) : [701] + [702] + [703] =						100.66
TOTAL ADDITIONAL LOAD (ADD) : [801] + [802] + [803] + [804] + [805] + [806]+[901] =						119.57.00
TOTAL TOPSIDE WEIGHT - STORM CONDITION (TOP2) : [3]+[4]+[5]+[LL-EXST]+[CRN]+[ADD] =						502.10.00
TOTAL WEIGHT						
TOTAL WEIGHT AT MAXIMUM WATER DEPTH -STORM CONDITION (2100) : [101] + [TOP1] + [6] =						1517.05.00
TOTAL WEIGHT AT MINIMUM WATER DEPTH - STORM CONDITION (2200) : [102] + [TOP1] + [6] =						1536.26.00

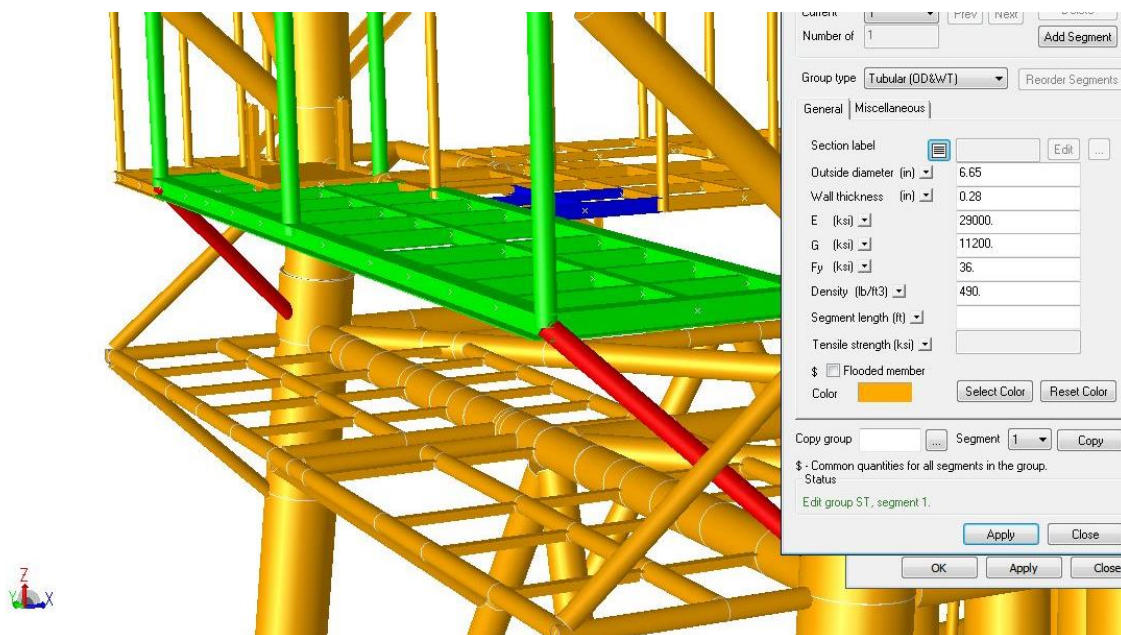
### 4.3 Analisis *In-place*

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kemampuan struktur *Bravo Wellhead Platform* menahan beban yang bekerja. Output yang dihasilkan dari analisa *in-place* ini adalah:

1. *Unity check* member untuk kondisi operasi dan badai.
2. *Joint punching shear check* untuk kondisi operasi dan badai.
3. *Pile safety factor* untuk kondisi operasi dan badai.
4. Periode natural struktur

#### 4.3.1 *Strengthening Struktur Bravo Wellhead Platform*

Pada analisa *inplace* ini penulis melakukan *strengthening* pada bagian *Topside Platform* supaya memenuhi kondisi *combined unity check* lebih kecil dari 1 ( $UC < 1$ ) seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.13. Penulis menambahkan dua member tubular dengan properti materialnya ditentukan sebesar OD 6.65" dan WT 0.20".



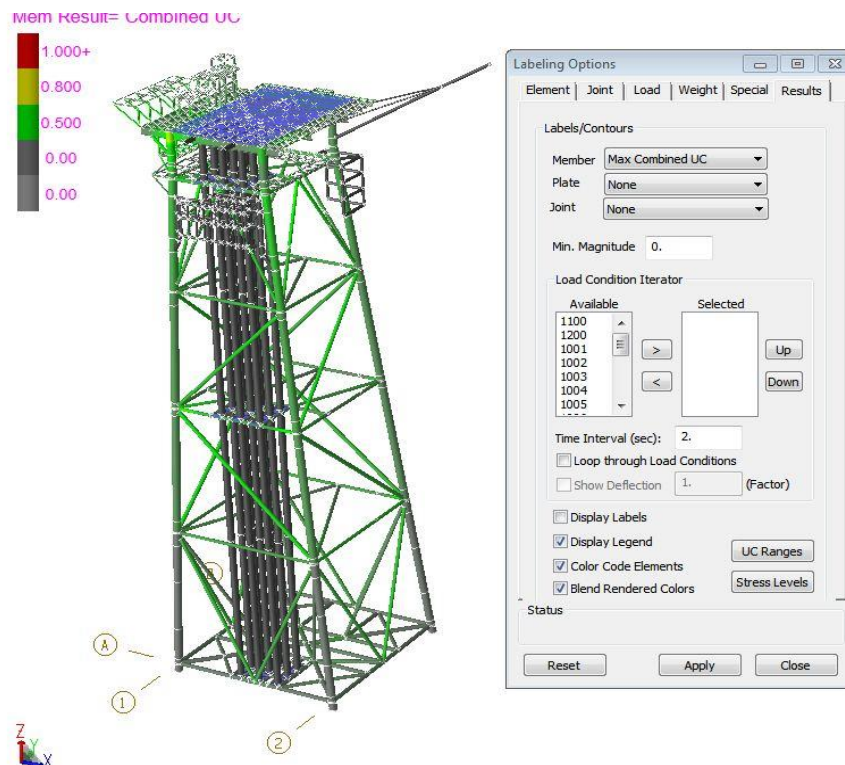
Gambar 4.13 Strengthening pada Sub-Cellar Deck

#### 4.3.2 *Member Stress Check*

Analisis *in-place* diperiksa di kedalaman air minimum dan kedalaman air maksimum baik untuk kondisi operasi dan kondisi badai. Stress unity checks telah dilakukan sebagai pengganti persyaratan AISC. Tekanan yang diizinkan meningkat 1/3 untuk kondisi badai. Ringkasan member utama ditunjukkan dalam Tabel 4.7 dan Tabel 4.8, dan tampilan member untuk kondisi badai dan operasi ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15

Tabel 4.7 *Member Stress Check* untuk Analisa *In-place in Operating Condition*

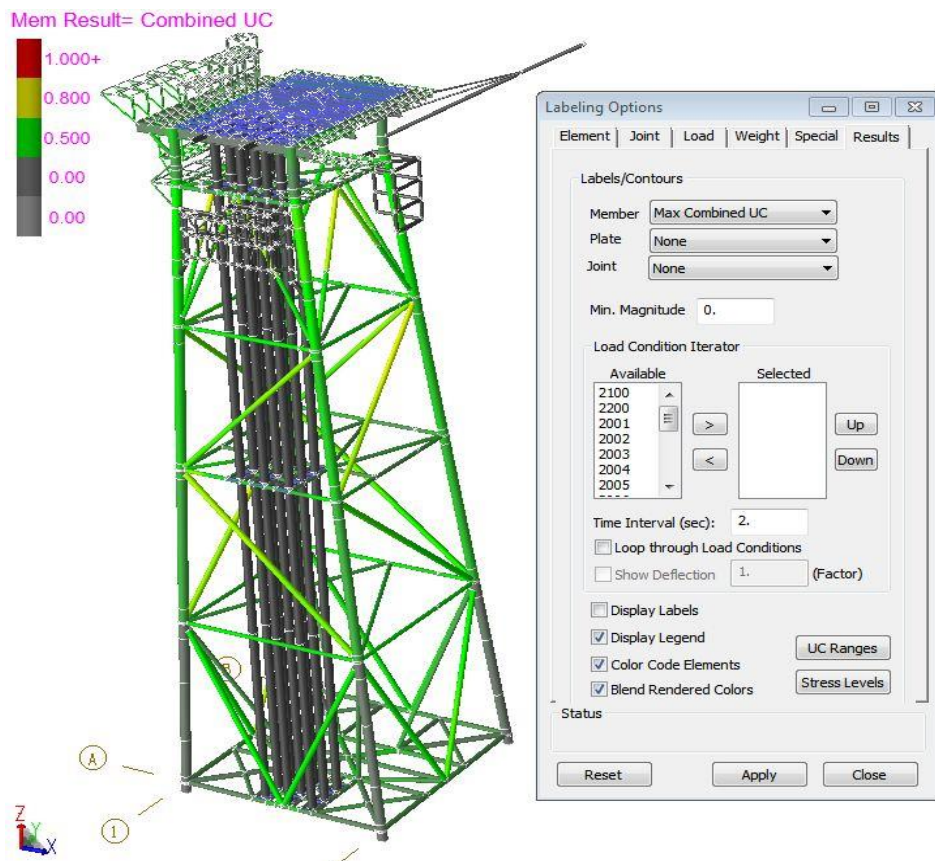
No	Description	Member Stress Check – In place Analysis			
		Operating			
		Member	Member Properties	Group	UC
1	<b>Topside/Deck</b>				
	<b>A Cellar Deck El. (+) 29'-0"</b>				
	Main Member	1016-1024	W33X118	W01	0,41
	Secondary Member	1110-2028	C6X3X18	CH2	0,44
	Extension Deck	DE28-1001	W33X118	WN1	0,5
	<b>B Maintenance Access Platform</b>				
	El. (+) 36'-1"	AC50-AC30	W6X12	AP2	0,34
	El. (+) 39'-10"	AC76-AC26	W6X12	AP5	0,24
	El. (+) 42'-0"	AC16-AC10	W6X12	AP7	0,41
	<b>C Sub Cellar Deck El. (+) 18'-7"</b>				
	Existing	0039-709	8.625 in Ø x 0.322 in thk.	F01	0,67
	Extension Sub Cellar (new)	0037-0038	W6X12	MP2	0,74
	Extension Dog House	0085-0040	C4X2X9	MZN	0,72
	<b>D Sub Cellar Deck El. (+) 16'-8"</b>	8057-5058	C6X3X18	CH6	0,69
	<b>E Deck Support</b>				
	Deck Leg	0000-1001	30 in Ø x 0.75 in thk.	DLG	0,65
	Deck Bracing	713-0003	4.5 in Ø x 0.237 in thk.	BR1	0,67
2	<b>Jacket &amp; Pile</b>				
	<b>A Jacket Leg</b>	901-503	33.75 in Ø x 0.875 in thk.	LG4	0,33
	<b>B Jacket Walkway</b>	3066-3065	6.375 in Ø x 0.155 in thk.	AD2	0,16
	<b>C Jacket Plan Bracing</b>	301-309	14 in Ø x 0.375 in thk.	C01	0,55
	<b>D Jacket Diagonal Bracing</b>	423-535	13.75 in Ø x 0.25 in thk.	S14	0,45



Gambar 4.14 *Member Stress Check* struktur untuk Analisa *In-place in Operating Condition*

Tabel 4.8 *Member Stress Check* untuk Analisa *In-place in Storm Condition*

No	Description	Member Stress Check – In place Analysis			
		Storm			
		Member	Member Properties	Group	UC
1	<b>Topside/Deck</b>				
	<b>A Cellar Deck El. (+) 29'-0"</b>				
	Main Member	1080-0001	W33X118	W01	0,26
	Secondary Member	1110-2028	C6X3X18	CH2	0,32
	Extension Deck	DE17-1075	W18X55	WN2	0,46
	<b>B Maintenance Access Platform</b>				
	El. (+) 36'-1"	AC34-0029	W6X12	AP2	0,26
	El. (+) 39'-10"	AC76-AC26	W6X12	AP5	0,20
	El. (+) 42'-0"	AC16-AC10	W6X12	AP7	0,14
	<b>C Sub Cellar Deck El. (+) 18'-7"</b>				
	Existing	JW05-8000	C4X2X9	MZ1	0,52
	Extension Sub Cellar (new)	0037-0038	W6X12	MP2	0,65
	Extension Dog House	0085-0040	C4X2X9	MZN	0,45
	<b>D Sub Cellar Deck El. (+) 16'-8"</b>	8057-8058	C6X3X18	CH6	0,55
2	<b>Jacket &amp; Pile</b>				
	<b>A Jacket Leg</b>	307-407	34 in Ø x 1.00 in thk.	LG9	0,32
	<b>B Jacket Walkway</b>	555- 505	12.5 in Ø x 0.25 in thk.	E07	0,06
	<b>C Jacket Plan Bracing</b>	301-309	14 in Ø x 0.375 in thk.	C01	0,34
	<b>D Jacket Diagonal Bracing</b>	303- 405	16 in Ø x 0.375 in thk.	R01	0,39



Gambar 4.15 *Member Stress Check* struktur untuk Analisa *In-place in Operating Condition*

#### 4.3.3 Joint Punching Shear Check

*Punching shear check* berdasarkan API RP-2A telah dilakukan untuk semua sambungan (*Joints*) tubular. Tekanan yang diizinkan ditingkatkan 1/3 untuk kondisi badai menurut AISC. Ringkasan *punching shear check* untuk analisa *inplace* ditunjukkan pada Tabel 4. 9.

Tabel 4.9 *Joint Punching Shear Check* untuk Analisa In-place

No.	Load Condition	Joint No.	Load UC	Location	Remark
1	In-place Operating	155	0.499	El. (-) 180'	Ok
2	In-place Storm	145	0.785	El. (-) 180'	Ok

#### 4.3.4 Faktor Keamanan Pile

*Pile* memiliki kapasitas tertentu dalam menahan beban axial yang terjadi. Rasio antara kapasitas aksial *pile* dengan beban maksimum yang terjadi merupakan nilai *safety factor* untuk *pile*. *Safety factor* untuk kondisi *operating* disyaratkan minimum 2.0 sedangkan untuk kondisi ekstrem. Ringkasan hasil analisis untuk nilai minimum *pile safety factor* ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 *Pile Safety Factor Summary*

Pile Head Joint	Pile Safety Factor	
	Operating	Storm
102	3.02	1.67
104	3.29	1.69
106	4.49	1.81
108	3.86	1.73

Catatan : Diperlukan faktor keamanan minimum adalah 2,0 untuk analisa *inplace* kondisi operasi, 1,50 untuk analisa *inplace* kondisi badai.

#### 4.3.5 Periode Natural Struktur

Analisis modal dilakukan pada struktur untuk mengetahui ragam getar (*mode shape*) dari beberapa mode pertama. Dari sini dapat diketahui periode struktur untuk masing-masing mode. Periode dari mode pertama struktur diambil sebagai periode natural. Tabel 4.11 berikut ini merupakan hasil dari analisa *dynamic extract modeshape*.

Tabel 4.11 Tabel Periode Natural

MODE	FREQ. (CPS)	GEN. MASS	EIGENVALUE	PERIOD (SECS)
1	0.460093	4.7441879E+03	1.1966014E-01	2.1734749
2	0.461829	4.7091092E+03	1.1876214E-01	2.1653041
3	0.944587	5.5234224E+03	2.8389377E-02	1.0586632
4	1.514707	7.7719404E+03	1.1040349E-02	0.6601935
5	1.519880	8.1466805E+03	1.0965335E-02	0.6579469
6	1.984375	4.2663644E+03	6.4326895E-03	0.5039369
7	2.446309	7.4212816E+03	4.2327026E-03	0.4087792
8	2.543548	2.7540304E+03	3.9152568E-03	0.3931516
9	2.587205	5.9344303E+03	3.7842381E-03	0.3865175
10	3.418988	3.4412749E+03	2.1669306E-03	0.2924842

Dari hasil Tabel 4.11 menunjukkan bahwa nilai periode natural terbesar adalah 2 sekon.

#### 4.4 Analisa *Fatigue* Menggunakan Metode *Cummulative Damage*

Analisis *fatigue* yang dilakukan dalam tugas akhir ini dilakukan dengan cara deterministik (berdasarkan API RP2A). Analisis deterministik sesuai untuk digunakan pada struktur yang memiliki rentang antara periode natural dan periode gelombang yang cukup lebar. Pada kondisi ini, respon struktur tidak akan berada dekat dengan periode naturalnya. Struktur tetap (*fixed platform*) yang berada di laut dangkal dan memiliki periode natural relatif kecil biasanya dapat menggunakan analisis deterministik.

Analisis *fatigue* dilakukan dengan cara deterministik karena model struktur yang digunakan memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Periode struktur 2 detik < 3 detik
2. Kedalaman perairan lokasi yang direncanakan adalah 180 ft < 400 ft
3. Tersusun dari material baja yang getas (*ductile*)

Ada beberapa parameter yang harus ditentukan dalam analisis *fatigue* pada model struktur yang direncanakan, yaitu :

1. *Design life* struktur adalah 61 tahun
2. Usia desain *fatigue* untuk *joint* dan *member* sebaiknya minimum dua kali usia service yang diharapkan (*Life Safety Factor* = 2,0)
3. Interval waktu pengambilan data kejadian gelombang adalah 100 tahun

4. Jenis persamaan SCF (*Stress Concentration Factor*), yaitu persamaan Efthymiou.
5. Batas splash zone atas = elv. (+) 12'-0" dan splash zone bawah = elv. (-) 9'-6"

#### 4.4.1 **Beban *Fatigue***

Kondisi *fatigue* diperoleh dari akumulasi beban siklus, bekerja pada struktur sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan *fatigue*. Prosedur perhitungan *fatigue* tergantung kepada tipe analisis. Untuk setiap analisis *fatigue*, digunakan gelombang dengan arah tertentu. Data kejadian gelombang individu (*individual wave*) dari berbagai arah dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Jumlah Kejadian Gelombang Individual 100 Tahunan di Sekitar Platform

Significant Wave Height (ft)	Periode Gelombang (s)	Number of Waves Occurrences								Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
		315°	270°	225°	180°	135°	90°	45°	0°	
0,8200	2,541	82806	292128	4495824	11263740	362378	858938	67307182	1317144	85980140
2,4605	4,123	5670	11802	1272606	3975144	41310	122702	59298466	22034	64749734
4,1009	4,789	910	3064	180574	317748	8516	13430	13747482	2742	14274466
5,7413	5,224	0	2	45236	98292	524	198	2370530	24	2514806
7,3817	5,556	0	0	10106	19442	60	10	456690	0	486308
9,0221	5,819	0	0	2128	3976	0	4	76350	0	82458
10,663	6,034	0	0	422	4384	0	0	11924	0	16730
12,303	6,201	0	0	54	1450	0	0	2474	0	3978
Total		89386	306996	6006950	15684176	412788	995282	143271098	1341944	168108620

#### 4.4.2 ***Dynamic Amplification Factor***

Analisa *fatigue* ini dilakukan dengan memasukkan data kejadian gelombang. Nilai dari perhitungan DAF (*Dynamic Amplification Factor*) ini akan menunjukkan bagaimana pengaruh osilasi struktur terhadap adanya perbesaran gelombang.

Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai DAF.

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{(1 - (\frac{T_n}{T})^2)^2 + 2\beta(\frac{T_n}{T})^2}} \quad (4.1)$$

Dengan:

- T<sub>n</sub> : Periode natural struktur (detik)  
T : Periode gelombang (detik)  
β : Damping ratio (2%) Berdasarkan API RP2A

Nilai periode natural yang mendekati dengan nilai periode dari gelombang, maka akan terjadi penambahan nilai DAF (*Dynamic Amplification Factor*) yang cukup tinggi. Periode struktur



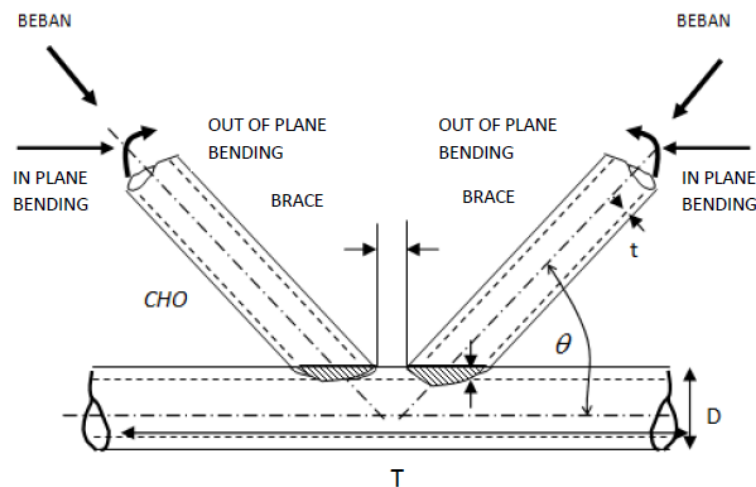
yang didapatkan dari analisa menggunakan SACS adalah 2.1734749 *secs* dan  $\beta = 0.05$  akan dimasukkan kedalam analisa seperti pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Nilai DAF (*Dynamic Amplification Factor*)

Wave Height (ft)	Periode Gelombang (sec)	$T_n/T$	$(T_n/T)^2$	DAF
0,8200	2,541	0,85536	0,731644	2,624507
2,4605	4,123	0,52716	0,277896	1,349353
4,1009	4,789	0,45385	0,205977	1,239328
5,7413	5,224	0,41606	0,173102	1,194316
7,3817	5,556	0,39119	0,153033	1,168288
9,0221	5,819	0,37351	0,139512	1,151336
10,663	6,034	0,36020	0,129747	1,139373
12,303	6,201	0,35050	0,122853	1,131065

#### 4.4.3 Validasi Parameter *Tubular Joint*

Berdasarkan API RP 2A WSD *tubular joint* dapat diklasifikan menjadi tipe K, T, Y dan X



Gambar 4.16 Parameter Utama *Tubular Joint*

(sumber. API RP 2A, 21<sup>st</sup> edition, American Petroleum Institute, 2005)

Keterangan parameter utama :

D = diameter luar chord

L = panjang chord

d = diameter luar brace

T = ketebalan chord

t = ketebalan brace



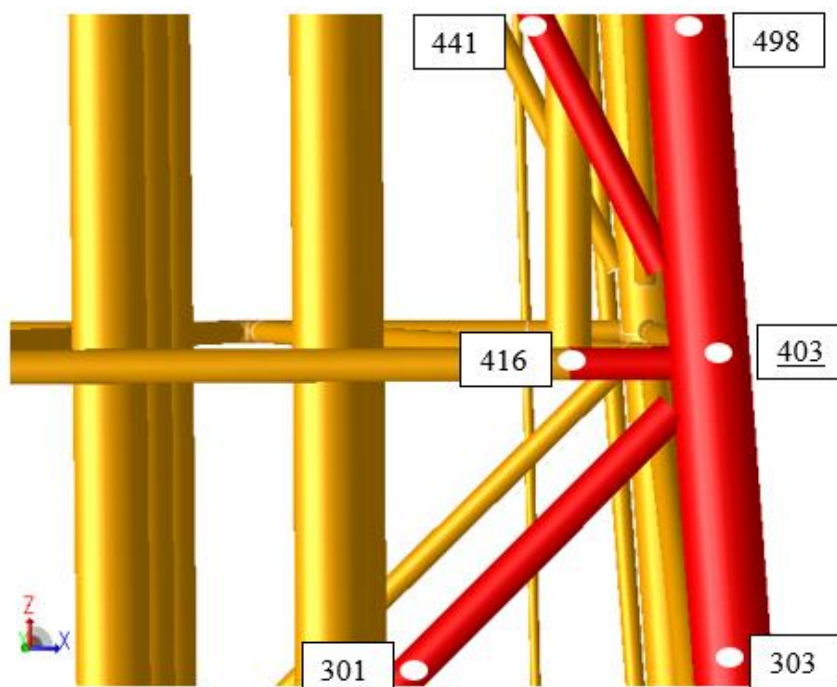
Pada Tabel 4.14 menunjukkan syarat yang harus dipenuhi oleh *tubular joint* untuk menggunakan formula Effthymiou dalam menganalisa nilai SCF.

Tabel 4.14 Rentang Batasan Formula SCF oleh Effthymiou

(sumber: Marine Structural Design Calculations, El Reedy, 2014)

Keterangan	Formula	Rentang Batasan
Rasio Diameter	$\beta = d/D$	$0.2 \leq \beta \leq 1$
Rasio Ketebalan	$\tau = t/T$	$0.2 \leq \tau \leq 1$
Rasio Kelangsingan <i>Chord</i>	$\gamma = D/2T$	$8 \leq \gamma \leq 32$
Rasio <i>Gap</i> dan Diameter	$\zeta = g/D$	$20 \leq \theta \leq 90$
Rasio Panjang dan Diameter	$\alpha = 2L/D$	$4 \leq \alpha \leq 40$
Sudut Orientasi	$\theta$	$20 \leq \theta \leq 90$

*Stess Concentration Factor* (SCF) merupakan parameter terhadap kekuatan sambungan yang nilainya akan berbeda tergantung geometrinya. Proses analisa yang penulis lakukan, menggunakan metode analisa berdasarkan Effthymiou. SCF merupakan parameter terhadap kekuatan sambungan yang nilainya akan berbeda tergantung geometrinya. Beberapa joint kritis yang ditinjau diketahui memiliki geometri sambungan T dan K antara *chord* dengan *brace*-nya. Dari data didapatkan parameter utama dari *joint 403* yang dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Lokasi Validasi *Tubular Joint*

Tabel 4.15 menerangkan parameter utama *tubular joint* pada *joint* 403 dengan data sebagai berikut:

Tabel 4.15 Parameter Utama *Tubular Joint*

Keterangan	Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
L	15.225	ft	4.64	m
D	34	in	0.86	m
d416	14	in	0.36	m
d441	14	in	0.36	m
d301	16	in	0.41	m
T	1	in	0.03	m
t416	0.366	in	0.009296	m
t441	0.375	in	0.009525	m
t301	0.375	in	0.009525	m

Tabel 4.16 Turunan Sambungan K-T Joint

Keterangan	Nilai	Rentang Batasan	Validitas <i>range</i>
$\alpha$	10.7471	$4 \leq \alpha \leq 40$	Sesuai
$\beta_{416}$	0.41176	$0.2 \leq \beta \leq 1$	Sesuai
$\beta_{441}$	0.41176	$0.2 \leq \beta \leq 1$	Sesuai
$\beta_{301}$	0.47059	$0.2 \leq \beta \leq 1$	Sesuai
$\tau_{416}$	0.366	$0.2 \leq \tau \leq 1$	Sesuai
$\tau_{441}$	0.375	$0.2 \leq \tau \leq 1$	Sesuai
$\tau_{301}$	0.375	$0.2 \leq \tau \leq 1$	Sesuai
$\gamma$	17	$8 \leq \gamma \leq 32$	Sesuai
$\theta$	49,2648	$20 \leq \theta \leq 90$	Sesuai

#### 4.4.4 *Fatigue Life Member Kritis*

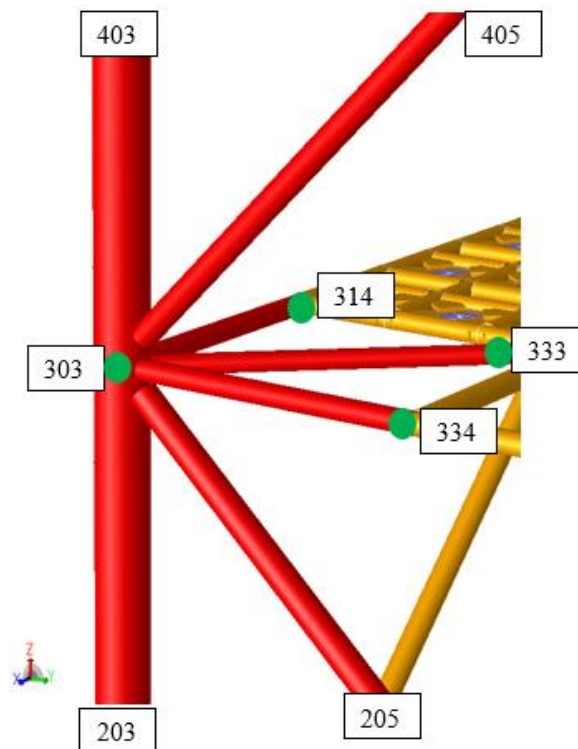
Berikut hasil dari analisa fatigue deterministik, akan didapatkan usia layan dari masing-masing *joint* pada *jacket* yang dimodelkan.

Tabel 4.17 Hasil *Joint* dan *Member* Dengan Umur Kelelahan Struktur

NO.	Location	Joint	Brace Member	Brace Size	Chord Size	Fatigue Life (SF =2)
				(OD x WT)	(OD x WT)	Service Life (years)
1	EL (+) 12	544	544-3005	6.38" x 0.149"	13.75" x 0.305"	45.848
2	EL (-) 180	145	145-203	16.00" x 0.368"	18.00" x 0.50"	231.826
3	EL (-) 180	133	133-135	16.00" x 0.50"	20.00" x 0.50"	95.307
4	EL (+) 12	540	540-549	12.50" x 0.246"	13.75" x 0.305"	139.138
5	EL (-) 75	328	301-328	12.75" x 0.368"	14.00" x 0.352"	204.893
6	EL (+) 12	509	509-516	12.50" x 0.250"	15.75" x 0.250"	292.601
7	EL (-) 30	303	303-205	16.00" x 0.375"	34.00" x 1.00"	89.342
8	EL (-) 180	150	146-150	16.00" x 0.50"	20.00" x 0.50"	399.865
9	EL (-) 30	409	418-409	14.00" x 0.366"	14.00" x 0.374"	311.757
10	EL (-) 180	145	145-203	16.00" x 0.368"	18.00" x 0.50"	232.829
11	EL (-) 75	333	303-333	12.50" x 0.362"	14.00" x 0.352"	465.514
12	EL (+) 12	3052	3058-3052	6.38" x 0.155"	15.75" x 0.250"	102.407
13	EL (-) 180	127	127-128	12.75" x 0.375"	18.00" x 0.50"	164.251
14	EL (+) 12	512	512-522	12.50" x 0.250"	15.75" x 0.296"	358.834
15	EL (-) 180	147	147-148	18.00" x 0.50"	20.00" x 0.50"	560.933
16	EL (-) 125	201	201-203	14.00" x 0.370"	34.00" x 1.00"	40.155
17	EL (+) 12	514	514-517	12.50" x 0.250"	15.75" x 0.250"	865.493
18	EL (+) 12	507	552-507	12.50" x 0.250"	34.00" x 1.00"	58.716

#### 4.5 Analisa *Fatigue* dengan Menggunakan Metode *Fracture Mechanics*

##### 4.5.1 Permodelan Lokal *Joint* Kritis



Gambar 4.18 *Tubular Joint* 303

Hasil analisa *fatigue* menggunakan metode *cummulative damage* akan didapatkan umur kelelahan terendah yang akan dimodelkan menggunakan perangkat lunak SOLIDWORK. *Joint* yang digunakan dalam analisa lokal adalah **joint 303** seperti ditunjukkan pada Gambar 4.18.

Tabel 4.18 menunjukan dimensi dari *joint-joint* yang berhubungan dengan *joint 303*.

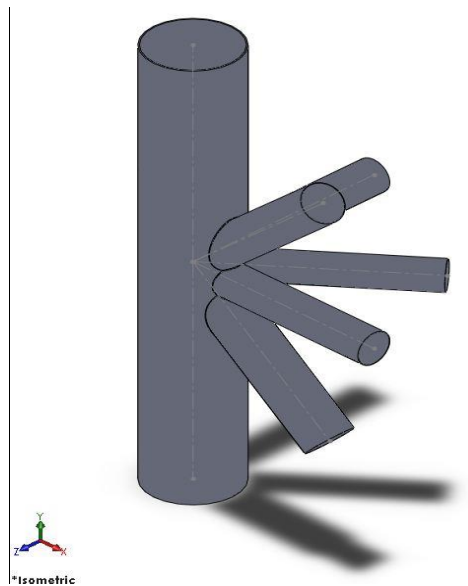
Tabel 4.18 Dimensi Tubular Joint 403

No.	Member	Length (m)	Outside Diameter (m)	Wall Thickness (m)
1	205- 303	2.0	0.4572	0.0094
2	334- 303	2.0	0.3556	0.0090
3	405- 303	2.0	0.4064	0.0095
4	333- 303	2.0	0.3239	0.0092
5	314- 303	2.0	0.3556	0.0095
6	203- 303	2.5	0.8636	0.0254
7	403- 303	2.5	0.8636	0.0254

Gambar 4.19 dibawah ini menunjukkan model geometri *joint 303* menggunakan *software* Solidwork dan disesuaikan dengan aturan *fillet weld* berdasarkan AWS D.1/D1.1 : 2015.

Tabel 4.19 Ukuran *Fillet Weld* Bedasarkan AWS D.1/D.1.1 : 2015

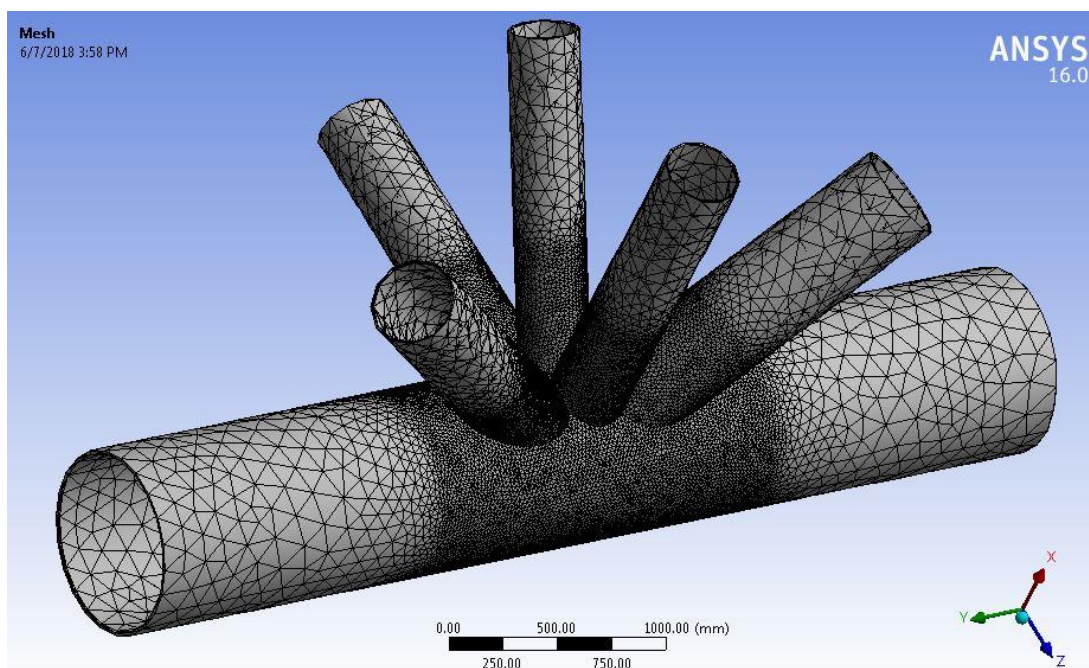
Minimum Fillet Weld Sizes (see 5.13)			
Base Metal Thickness (T) <sup>a</sup>		Minimum Size of Fillet Weld <sup>b</sup>	
in	mm	in	mm
$T \leq 1/4$	$T \leq 6$	$1/8 \leq$	$3 \leq$
$1/4 < T \leq 1/2$	$6 < T \leq 12$	$3/16$	$5$
$1/2 < T \leq 3/4$	$12 < T \leq 20$	$1/4$	$6$
$3/4 < T$	$20 < T$	$5/16$	$8$



Gambar 4.19 Permodelan Lokal *Joint* 303 Berdasarkan Fillet Weld Requirement (AWS D1.1: 2015)

#### 4.5.2 Permodelan Elemen Hingga (*Finite Element Model*)

Permodelan menggunakan *software* SOLIDWORK selanjutnya akan di-*import* ke *software* ANSYS untuk dilakukan permodelan selanjutnya. Meshing sensitivity adalah proses dimana mengukur keakuratan *output* dari permodelan ANSYS akibat dari penggunaan jumlah elemen. Jenis elemen yang digunakan adalah solid dengan *node tetrahedron* seperti ditunjukkan Gambar 4.20.



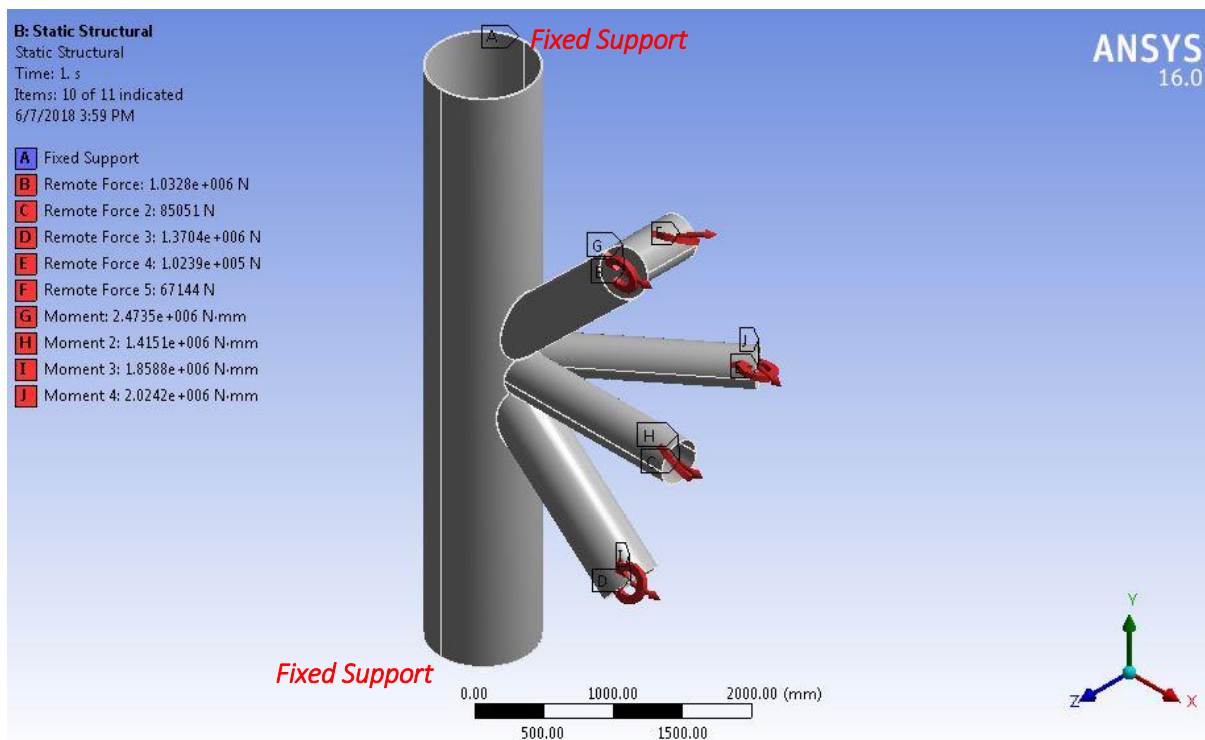
Gambar 4.20 *Meshing* Pada Permodelan Analisa Lokal

#### 4.5.3 Kondisi Batas dan Pembebanan

Pemberian kondisi batas yang berupa tumpuan diberikan pada kedua ujung member chord dan kondisi yang diberikan berupa *fixed support*. Setelah diberikan kondisi batas pada ujung member tersebut, selanjutnya diberikan beban pada tiap brace berupa gaya dan momen. Tabel 4.20 dan Gambar 4.21 menunjukkan nilai gaya dan momen yang didapat dari analisa *inplace*.

Tabel 4.20 Pembebanan Maksimum Tiap Member

Gaya	Member				
	205- 303	303- 334	303- 405	303- 333	303- 314
Mx (kN.m)	69347.77474	-413818.06	161248.03	-43726.018	791027.25
My (kN.m)	702596.6017	-865090.14	-298475.67	-1950856.5	-2950683.3
Mz (kN.m)	1719504.542	1040661.44	2450124.9	538101.37	1660209.7
fx (kN)	1370274.664	83448.6372	1032432.2	100173.95	57826.881
fy (kN)	15702.22225	7295.08342	23575.574	2268.593	16458.42
fz (kN)	4003.39944	14723.6135	13033.289	21084.57	-29892.049



Gambar 4.21 Pembebanan Maksimum dan Kondisi Batas

Pada tabel 4.21 dapat diketahui gaya dan momen minimum yang diberikan pada tiap brace.

Tabel 4.21 Pembebanan Minimum Tiap Member

Gaya	Member				
	205- 303	303- 334	303- 405	303- 333	303- 314
Mx (kN.m)	-57737.91637	-652509.6265	-125306.402	-333349.727	359772.163
My (kN.m)	-1638680.355	-2053388.055	-1417381.33	-2705452.86	-4166115.39
Mz (kN.m)	-1846367.822	-1129937.251	-2367121.12	-596773.41	-1582632.76
fx (kN)	-1089058.094	-99373.27054	-1285135.7	-106312.496	-88519.6098
fy (kN)	-15257.40009	-6538.885752	-21751.8036	-1690.32421	-15791.1867
fz (kN)	-9252.300928	9252.300928	44.482216	16502.90214	-37898.848

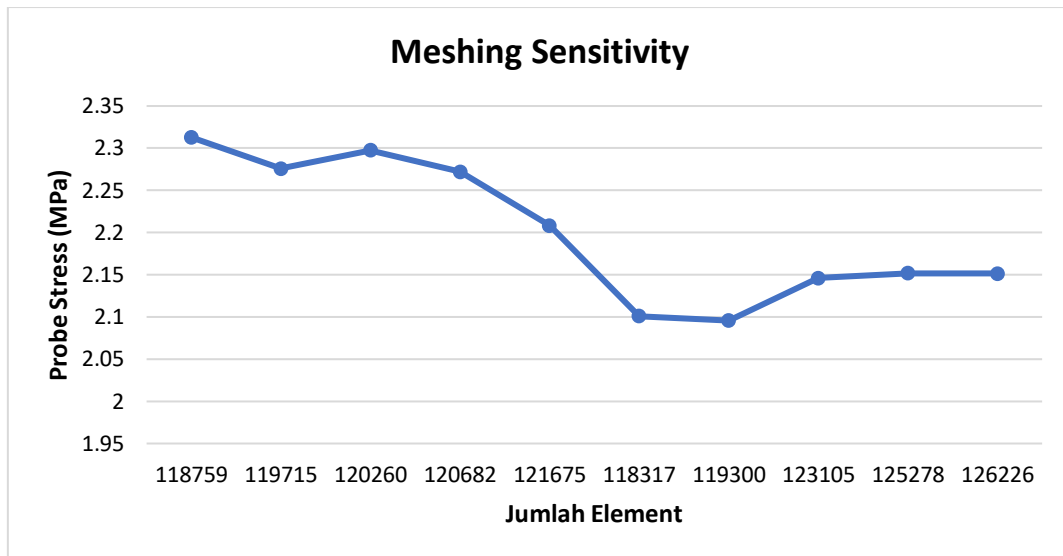
#### 4.5.4 *Meshing Sensitivity Analysis*

Analisis *meshing sensitivity* dilakukan untuk mengukur keakuratan dari permodelan ANSYS akibat dari penggunaan jumlah elemen. Dalam melakukan analisis model *multiplanar tubular joint* dilakukan dengan membagi model menjadi elemen-elemen kecil. Pada *meshing* ini, penulis membaginya menjadi ukuran 21,1 mm. Nilai pembebanan pada analisis ini sama namun penggunaan jumlah elemen divariasikan. Pada model sambungan tubular, jumlah elemen yang digunakan bervariasi dengan nilai pembebanan yang sama. Hasil perbandingan antara ukuran elemen, jumlah elemen, dan tegangan yang terjadi pada *multiplanar tubular joint* 303 dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 *Meshing Sensitivity*

Ukuran (mm)	Jumlah Node	Jumlah Element	Probe Stress (Mpa)
22,0	237201	118759	2,3128
21,9	239174	119715	2,2757
21,8	240236	120260	2,2976
21,7	241106	120682	2,2719
21,6	243017	121675	2,2082
21,5	236471	118317	2,1009
21,4	238404	119300	2,0957
21,3	245302	123105	2,1462
21,2	250295	125278	2,1517
21,1	252074	126226	2,1514



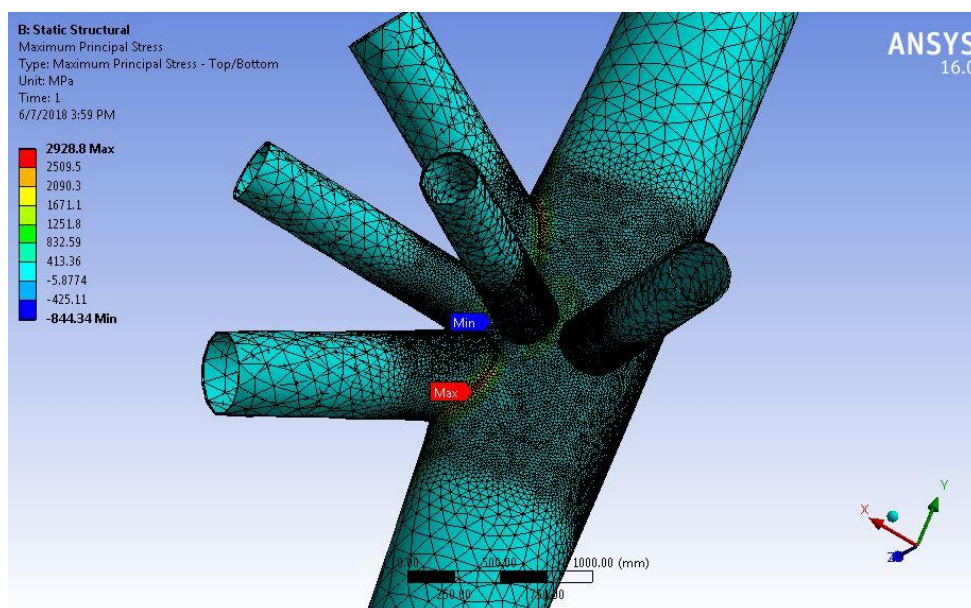


Gambar 4.22 Grafik *Meshing Sensitivity Analysis*

Dari Hasil pada grafik Gambar 4.22 nilai tegangan yang stabil untuk analisa ANSYS sebesar 2,1514 MPa dengan jumlah element sebanyak 126226 elemen.

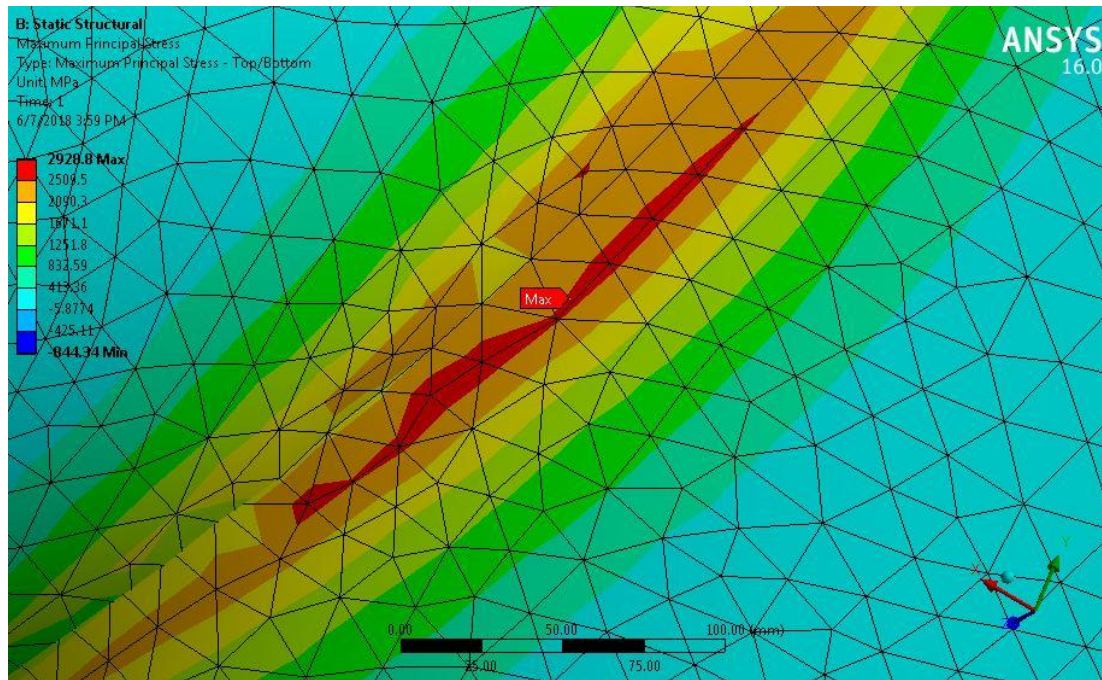
#### 4.5.5 Posisi Retak

Posisi retak awal ditentukan dari konsentrasi tegangan tertinggi yang terjadi. Tegangan tertinggi didapatkan dari penjumlahan tegangan normal dan tegangan geser. Perhitungan ini dilakukan pada kondisi pembebanan pada chord dan brace seperti pada Gambar 4.21. Hasil dari analisa dengan perangkat lunak ANSYS menunjukkan tegangan maksimum terjadi pada member 303 – 205 seperti terlihat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.





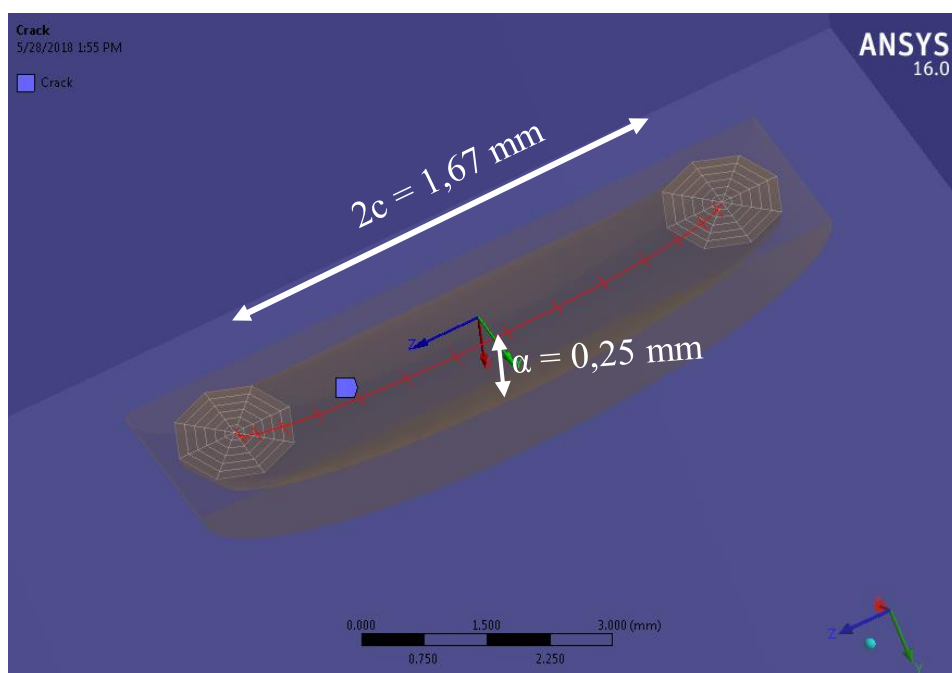
Gambar 4.23 Letak Tegangan Maksimum



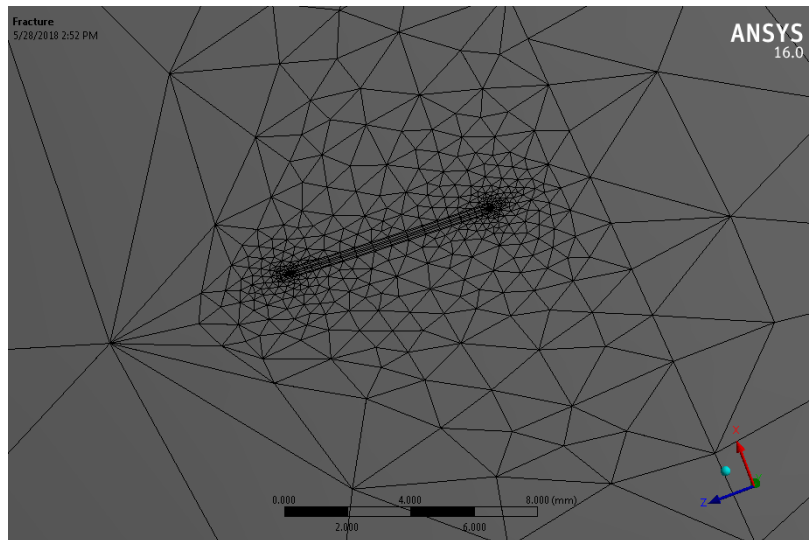
Gambar 4.24 Letak Tegangan Maksimum (Lanjutan)

#### 4.5.6 Initial Crack Joint Kritis

Pada Joint kritis tersebut, akan dimodelkan sebuah *surface crack* dengan bentuk *semi elliptical*. Berdasarkan aturan ABS “*Guide for Fatigue Assessment of Offshore Structures*” tahun 2003 kedalaman retak ( $a_0$ ) sebesar 0.25 mm dan perbandingan dari kedalaman retak ( $a_0$ ) dengan panjang retak ( $2c$ ) sebesar 1,67 mm.



(a) Permodelan *Crack* Pada Titik Acuan



(b) Bentuk *Meshing* Pada *Crack*

Gambar 4.25 (a) Permodelan *Crack* pada Titik Acuan (b) Bentuk *Meshing* pada Crack (Lanjutan)

Pada gambar 4.25 diperlihatkan model dan meshing penambahan crack pada tubular. Crack yang dimodelkan diletakan pada titik acuan yang sudah ditentukan lalu dilakukan meshing dengan ukuran 21,1 mm sesuai dengan meshing sensitivity.

#### 4.5.7 Perhitungan SIF (*Stress Intensity Factor*)

Perhitungan pada software ANSYS dapat dilakukan pada tiap penambahan panjang sebuah *crack* sehingga didapatkan nilai SIF berbeda untuk setiap penambahan retak. Nilai SIF digunakan untuk menghitung nilai dan *crack propagation rate* hingga nilai *cycle* tertentu. Pada Tabel 4.23 menunjukan nilai SIF pada *increment crack growth* sebesar 0.25 mm.

Tabel 4.23 Nilai SIF

$\alpha$ (mm)	2c (mm)	SIF min (Mpa√mm)	SIF max (Mpa√mm)	$\Delta K$ (Mpa√mm)
0,25	1,67	47,82	48,27	0,44
0,50	3,34	55,10	55,97	0,87
0,75	5,01	58,17	59,27	1,10
1,00	6,68	60,73	61,97	1,23
1,25	8,35	71,53	72,83	1,30
1,50	10,02	74,60	75,97	1,37
1,75	11,69	80,80	82,30	1,50
2,00	13,36	87,03	88,83	1,80
2,25	15,03	91,07	93,10	2,03
2,50	16,70	97,03	99,10	2,07

Tabel 4.24 Nilai SIF (Lanjutan)

2,75	18,37	104,10	106,47	2,37
3,00	20,04	108,03	110,47	2,43
3,25	21,71	115,73	118,30	2,57
3,50	23,38	120,70	123,77	3,07
3,75	25,05	128,13	131,40	3,27
4,00	26,72	140,80	144,30	3,50
4,25	28,39	150,80	154,77	3,97
4,50	30,06	159,43	163,73	4,30
4,75	31,73	171,07	175,40	4,33
5,00	33,40	178,07	182,53	4,47
5,25	35,07	185,77	190,70	4,93
5,50	36,74	194,73	199,90	5,17
5,75	38,41	204,30	209,57	5,27
6,00	40,08	213,77	219,47	5,70
6,25	41,75	221,37	227,47	6,10
6,50	43,42	230,43	237,07	6,63
6,75	45,09	241,13	247,97	6,83
7,00	46,76	253,77	260,70	6,93
7,25	48,43	263,77	271,13	7,37
7,50	50,10	276,17	283,80	7,63
7,75	51,77	290,77	298,77	8,00
8,00	53,44	302,37	310,57	8,20
8,25	55,11	315,40	324,10	8,70
8,50	56,78	330,43	339,37	8,93
8,75	58,45	341,07	350,47	9,40
9,00	60,12	357,43	367,53	10,10
9,25	61,79	370,77	381,57	10,80
9,50	63,46	383,83	394,93	11,10

Tabel 4.23 menyatakan bahwa nilai  $a$  dimulai pada 0.25 mm dan nilai akhir  $a$  adalah 9.5 mm sesuai ketebalan tubular yang dianalisa. Nilai  $2c$  pada Tabel 4.23 didapatkan dengan membagi nilai  $a$  dan  $a/2c = 0.15$ . Nilai  $a/2c$  didapatkan dari buku Barsom dan Rofle, 1987.

#### 4.5.8 Validasi *Stress Intensity Factor*

Validasi perlu dilakukan untuk mengetahui nilai SIF pada *software* mendekati perhitungan analitik atau manual. Berdasarkan data geometri *crack* yang diketahui sebelumnya, akan dilakukan perhitungan manual SIF yang kemudian dibandingkan dengan perhitungan numerik dari *software* ANSYS. Persamaan tersebut dapat dilihat pada bagian 4.7 (Barsom, 1987):

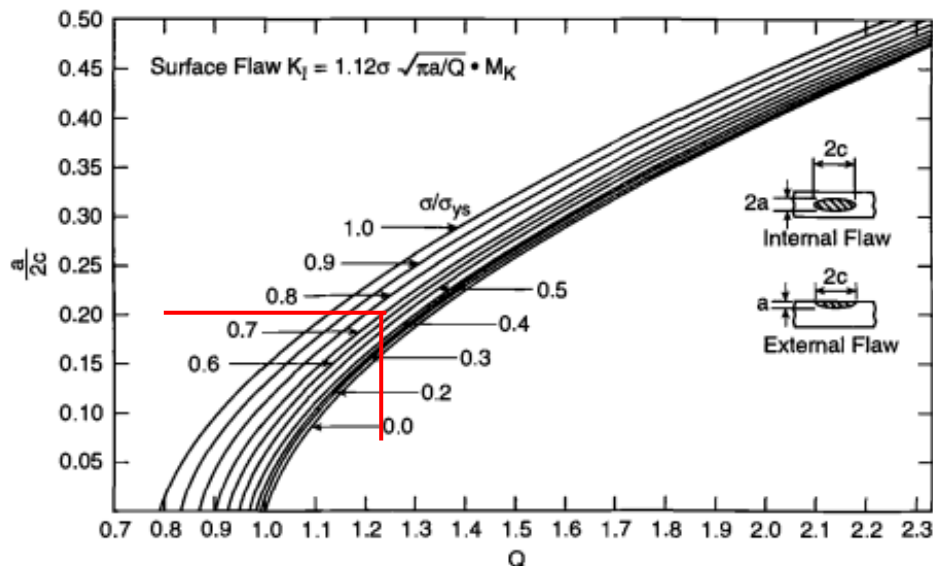
$$K_I = 1,12\sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} \cdot M_k \quad (4.2)$$

$$M_k = 1,0 + 1,2 \left( \frac{a}{t} - 0,5 \right) \quad (4.3)$$

Dimana :

$M_k$  = Faktor koreksi *back-free surface crack* (ketika  $\frac{a}{t} < 0.5$  maka  $M_k=1$ )

$Q$  = Faktor *front-free surface crack*



Gambar 4.26 Grafik Parameter Q

Dari data geometri struktur didapatkan bahwa faktor koreksi *back free crack surface* dengan ketebalan *chord* sebesar 9,5 mm dan kedalaman retak 0.25 mm maka didapatkan nilai

faktor koreksi *back-free surface* (Mk) adalah sebesar 0,463 yang mana angka tersebut kurang atau sama dengan 0,5. Maka faktor koreksi *back-free surface crack* (Mk) dapat diasumsikan sebesar 1.

Kemudian menentukan faktor *front free surface crack* (Q) berdasarkan Gambar 4.26 yaitu memasukan nilai  $a/2c$  maka akan didapatkan nilai Q. Nilai yang didapatkan dari Gambar 4.26 adalah 1,2.

Tabel 4.25 Validasi Nilai SIF

Keterangan	Nilai
$\sigma/\sigma_y$	0,2
$a/2c$	0,15
Q	1,2
Mk	0,4315
SIF Maks Manual (Mpa.mm <sup>0.5</sup> )	47,62662
SIF ANSYS (Mpa.mm <sup>0.5</sup> )	48,27
Error	1,33%
SIF Maks Manual (Mpa.mm <sup>0.5</sup> )	47,17731
SIF ANSYS (Mpa.mm <sup>0.5</sup> )	47,82
Error	1,34%

#### 4.5.9 Perhitungan Umur Kelelahan

Perhitungan umur kelelahan pada struktur didapatkan dari persamaan berikut:

$$N = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{c(\Delta K)^m} \quad (4.4)$$

Keterangan:

$a_0$  = Kedalaman Retak Awal (initial crack)

$a_f$  = Kedalaman Retak Akhir (final crack)

N = Jumlah Cycle

$\Delta K$  = Perubahan SIF

c & m = Konstanta Material

Pada struktur ini digunakan baja jenis A36 yang memiliki karakteristik keretakan yaitu *ferrite-pearlite steels* dengan rumus sesuai ASTM West Conshohocken:

$$\frac{d\alpha}{dN} = 3.6 \times 10^{-10} (\Delta K)^{3.0} \quad (4.5)$$

Dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas, maka dapat diperhitungkan umur kelelahan struktur dengan jumlah *cycle* yang didapatkan kemudian membagi dengan jumlah kejadian *cycle* pada struktur tersebut. Pada Tabel 4.26 diperlihatkan jumlah *cycle* yang terjadi agar struktur mengalami kegagalan.

Tabel 4.26 Perhitungan Jumlah Cycle

2c	$\alpha$	$\alpha f$	$\alpha$ avg	$\Delta K$	$\Delta\alpha/\Delta N$	$\Delta N$	N
1,67	0,25	0,5	0,375	0,44	3,13685E-11	7969780293	7,97E+09
3,34	0,5	0,75	0,625	0,87	2,34347E-10	1066795630	9,04E+09
5,01	0,75	1	0,875	1,10	4,7916E-10	521746389,5	9,56E+09
6,68	1	1,25	1,125	1,23	6,75373E-10	370165636,8	9,93E+09
8,35	1,25	1,5	1,375	1,30	7,9092E-10	316087594,2	1,02E+10
10,02	1,5	1,75	1,625	1,37	9,18947E-10	272050608,7	1,05E+10
11,69	1,75	2	1,875	1,50	1,215E-09	205761316,9	1,07E+10
13,36	2	2,25	2,125	1,80	2,09952E-09	119074836,2	1,08E+10
15,03	2,25	2,5	2,375	2,03	3,02641E-09	82606033,1	1,09E+10
16,70	2,5	2,75	2,625	2,07	3,17771E-09	78673089,19	1,10E+10
18,37	2,75	3	2,875	2,37	4,77215E-09	52387325,34	1,11E+10
20,04	3	3,25	3,125	2,43	5,18689E-09	48198407,78	1,11E+10
21,71	3,25	3,5	3,375	2,57	6,08711E-09	41070415,5	1,11E+10
23,38	3,5	3,75	3,625	3,07	1,03825E-08	24078963,59	1,12E+10
25,05	3,75	4	3,875	3,27	1,25492E-08	19921546,29	1,12E+10
26,72	4	4,25	4,125	3,50	1,5435E-08	16196954,97	1,12E+10
28,39	4,25	4,5	4,375	3,97	2,24688E-08	11126546,52	1,12E+10
30,06	4,5	4,75	4,625	4,30	2,86225E-08	8734381,18	1,12E+10
31,73	4,75	5	4,875	4,33	2,92933E-08	8534365,043	1,12E+10
33,40	5	5,25	5,125	4,47	3,20814E-08	7792680,616	1,12E+10
35,07	5,25	5,5	5,375	4,93	4,32239E-08	5783838,075	1,12E+10
36,74	5,5	5,75	5,625	5,17	4,96517E-08	5035077,708	1,13E+10
38,41	5,75	6	5,875	5,27	5,25908E-08	4753680,743	1,13E+10
40,08	6	6,25	6,125	5,70	6,66695E-08	3749841,757	1,13E+10
41,75	6,25	6,5	6,375	6,10	8,17132E-08	3059482,708	1,13E+10
43,42	6,5	6,75	6,625	6,63	1,05075E-07	2379260,764	1,13E+10
45,09	6,75	7	6,875	6,83	1,14868E-07	2176404,869	1,13E+10
46,76	7	7,25	7,125	6,93	1,19985E-07	2083585,216	1,13E+10
48,43	7,25	7,5	7,375	7,37	1,43918E-07	1737098,523	1,13E+10
50,10	7,5	7,75	7,625	7,63	1,6012E-07	1561330,433	1,13E+10
51,77	7,75	8	7,875	8,00	1,8432E-07	1356336,806	1,13E+10
53,44	8	8,25	8,125	8,20	1,98492E-07	1259493,559	1,13E+10
55,11	8,25	8,5	8,375	8,70	2,37061E-07	1054580,533	1,13E+10
56,78	8,5	8,75	8,625	8,93	2,56651E-07	974085,077	1,13E+10
58,45	8,75	9	8,875	9,40	2,9901E-07	836091,7673	1,13E+10
60,12	9	9,25	9,125	10,10	3,70908E-07	674020,9361	1,13E+10
61,79	9,25	9,5	9,375	10,80	4,53496E-07	551272,3896	1,13E+10
63,46	9,5	9,75	9,625	11,10	4,92347E-07	507771,7926	1,13E+10
N =						1,128E+10	

Didapatkan dari Tabel 4.26 bahwa jumlah *cycle* yang terjadi agar struktur tersebut mengalami kegagalan adalah 1,1E+10. Umur kelelahan didapat dengan membagi jumlah kegagalan dengan jumlah kejadian gelombang yang dialami oleh struktur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Umur kelelahan

No.	Keterangan		Nilai	
1	Jumlah siklus sampai struktur mengalami kegagalan	=	1,13E+10	Siklus
2	Jumlah kejadian gelombang struktur	=	1,68E+08	Siklus/Tahun
Perhitungan umur kelelahan struktur				
3	$\text{Umur Kelelahan Struktur} = \frac{(1)}{(2)} = \frac{1,13E + 10 \text{ siklus}}{1,68E + 08 \text{ siklus/tahun}} = 67,101 \text{ tahun}$			

#### 4.5.10 Selisih Umur Kelelahan Menggunakan Metode *Cummulative Damage* dan *Fracture Mechanics*

Dari hasil analisa menggunakan metode cummalative damage dan fracture mechanic yang telah dilakukan, maka nilai keduanya dapat digunakan untuk mengetahui nilai perbandingan umur kelelahan platform.

Tabel 4.28 Selisih Umur Kelelahan

Selisih Umur Kelelahan		
Metode	Nilai	Selisih
Cummulative Damage	89,342	22,241
Fracture Mechanics	67,101	

Dari Tabel 4.28 dapat disimpulkan bahwa selisih umur kelelahan sebesar 22,241 tahun adalah akibat adanya retak di bagian struktur atau platform yang mengakibatkan pengurangan umur kelelahan yang signifikan jika dibandingkan dengan sebelum tidak adanya retak tersebut.



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat dari analisis umur kelelahan Struktur *Bravo Wellhead platform* ini antara lain:

1. Kekuatan *member unity check* terbesar untuk analisa *inplace* terjadi di area *extension sub-cellar deck* dengan nilai UC sebesar 0,74 pada kondisi operasi dan UC sebesar 0,65 pada kondisi badai. Hasil lebih lengkapnya ditampilkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.
2. Nilai umur kelelahan Struktur *Bravo Wellhead platform* pada sambungan *joint 303* dengan menggunakan metode *cummulative damage* ialah sebesar 89.342 tahun..
3. Dengan metode *fracture mechanic* diperoleh umur kelelahan Struktur *Bravo Wellhead platform* sebesar 1,1E+10 cycles atau 67,101 tahun. Dan dari perbandingan hasil perhitungan umur kelelahan, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya retak mengakibatkan umur kelelahan berkurang signifikan. Pada analisa ini umur kelelahan berkurang 22,241 tahun.

#### **5.2 Saran**

Saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Dianjurkan analisis selanjutnya menggunakan model retak selain semi elip untuk lebih mengakuratkan hasil mekanika kepecahan.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

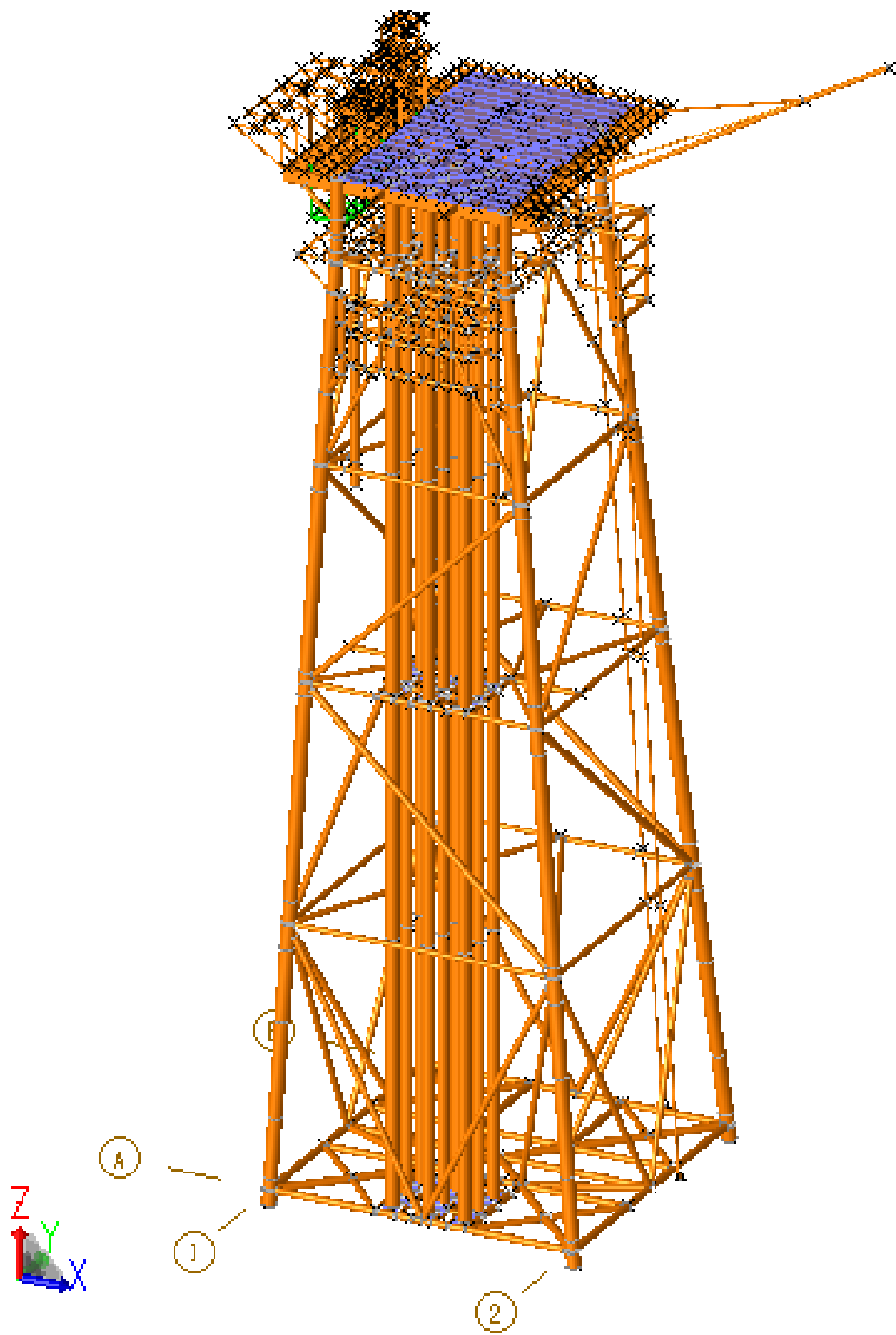
## DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. “*Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms*”. API RP2A 13th Edition, 1982.
- Rolfe, S. T., & Barsom, J. M. (1987). *Fracture and Fatigue Control in Structures: Application of Fracture Mechanics*. New Jersey: Prentice- Hall, Inc.
- Rolfe, S. T., & Barsom, J. M. (1999). *Fracture and Fatigue Control in Structures: Application of Fracture Mechanics (Third Edition)*. Philadelphia: ASTM.
- Puspitorini, A. (2017). *Analisa Sisa Umur Kelelahan Pada UW-Pro Platform Menggunakan Metode Cumulative Damage Dan Fracture Mechanic*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Annastasia, R. P. (2005). *Analisa Umur Kelelahan Tubular Joint Tipe T yang Memiliki Retak Semi Elliptical pada Chord dengan Metode Linear Elastic Fracture Mechanics*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- API RP-2A-WSD. (2000). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform*.
- Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Computational Mechanics Publications Southampton Boston, Springer – Verlag, Berlin.
- Chakrabarti, S. K. 1994. *Offshore Structure Modelling*. World Scientific Publishing, Singapore.
- Gibstein, M.B. *Stress Concentration in Tubular K-Joints with Diameter Ratio Equal to One*. Steel in Marine Structures, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 1987, pp. 377-393.
- Ahmad, Ali Akbar. (2010). *Analysis Service Life Extension*. Jakarta
- Rahadrianto, P. N. (2017). *Analisis Resiko Fatigue LifeE Struktur Tripod Well Support SALAWATI FIELD Pendekatan Mekanika Kepecahan Terhadap Variasi Geometri Crack pada Multiplanar Tubular Joint*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Syahroni, N. (2014). *Fracture Mechanics – An Introduction*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan.
- American Welding Society D1.1M (2015). “*Structural Welding Code-Steel*”.

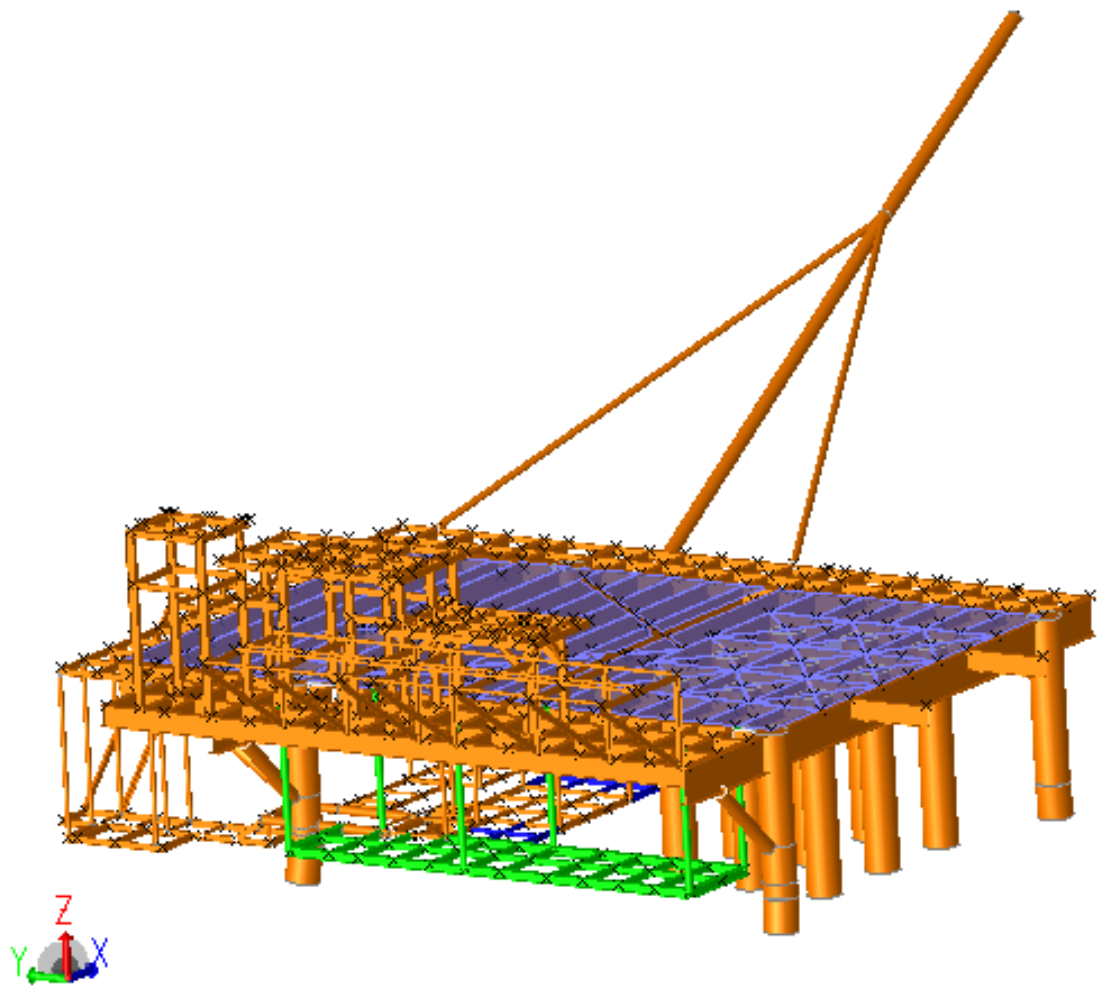
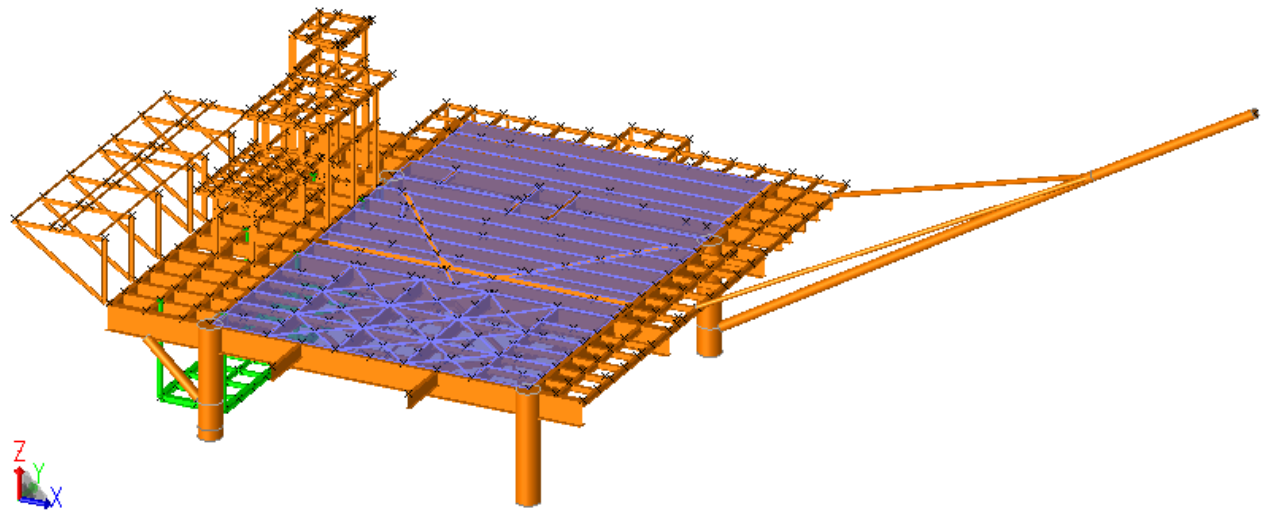


\

**LAMPIRAN A**  
**COMPUTER MODEL**

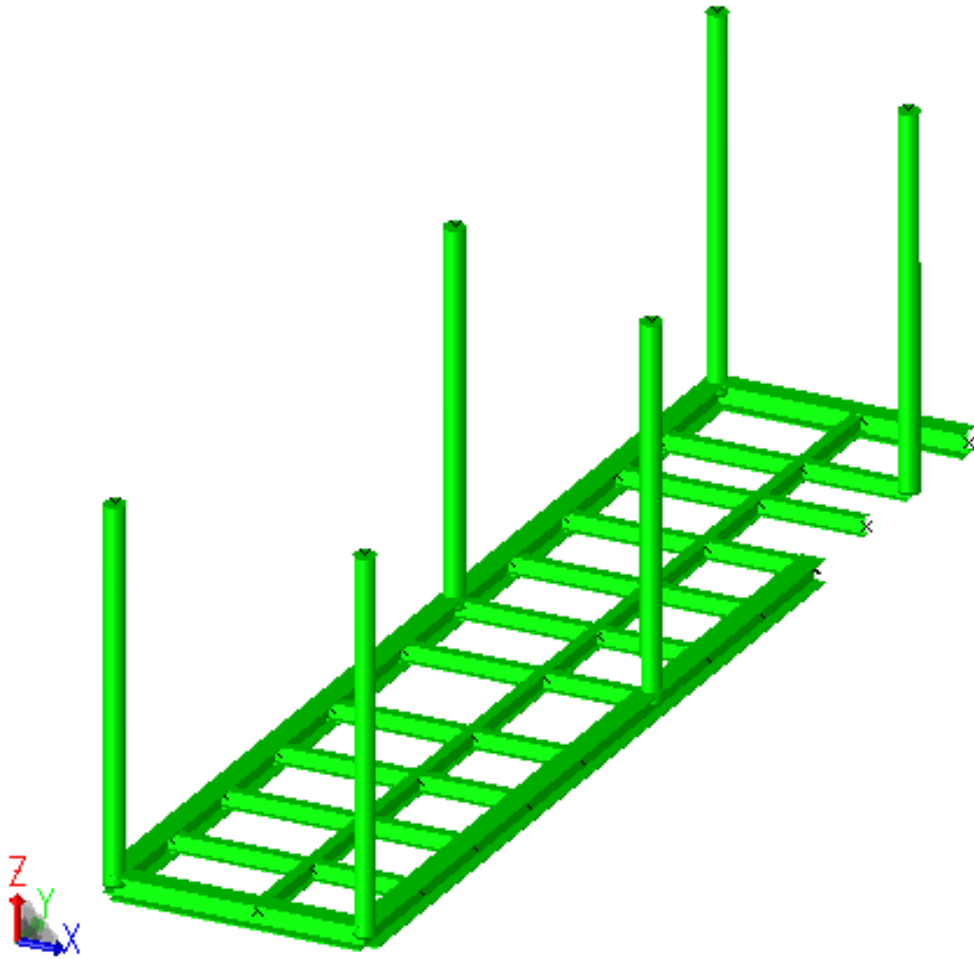


BW Platform 3D Model



BW Platform Deck 3D Model



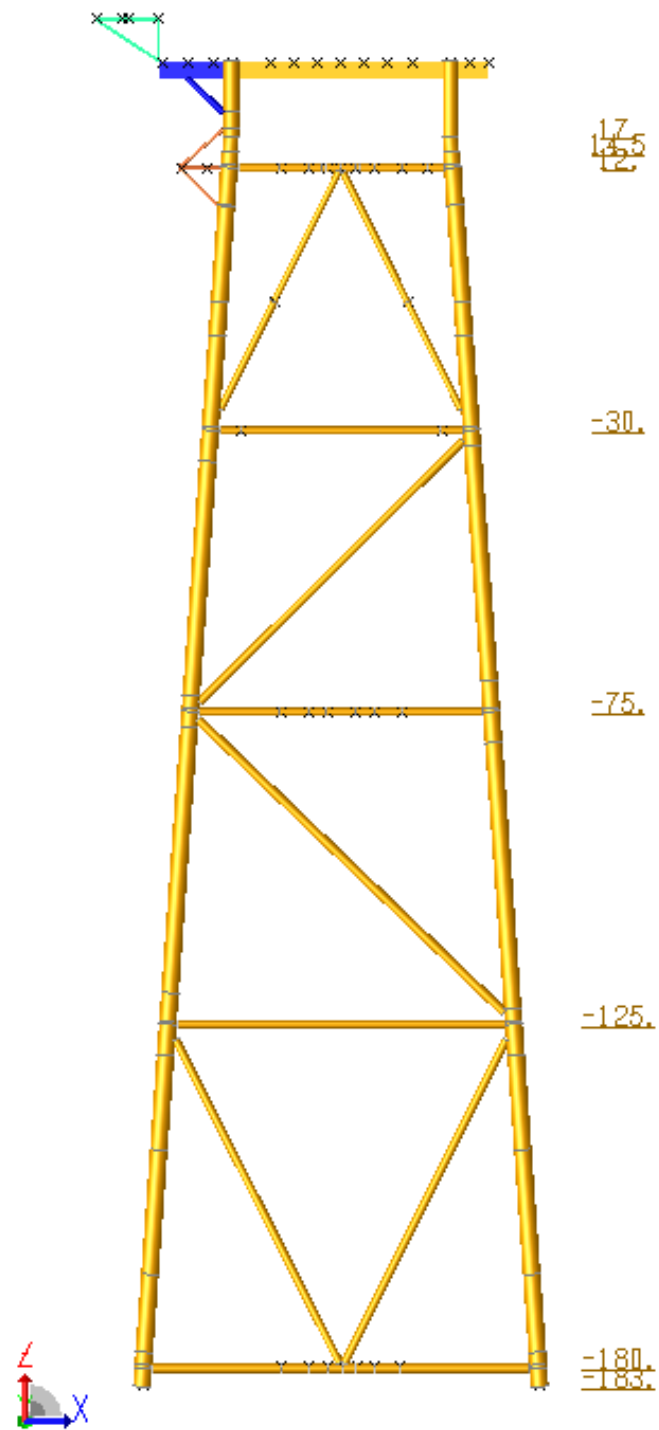


SUB CELLAR EXTENSION DECK

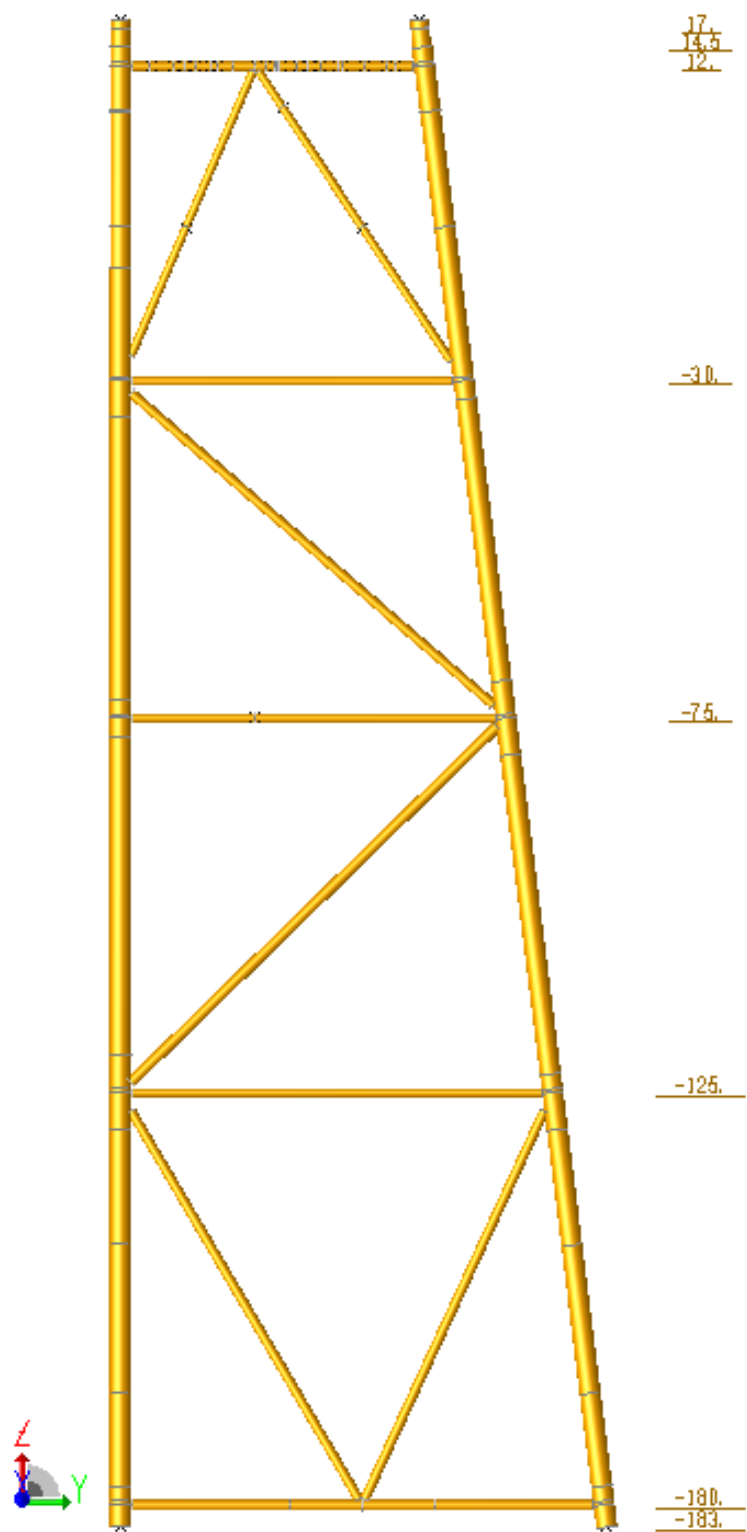
El. (+) 18'-7"



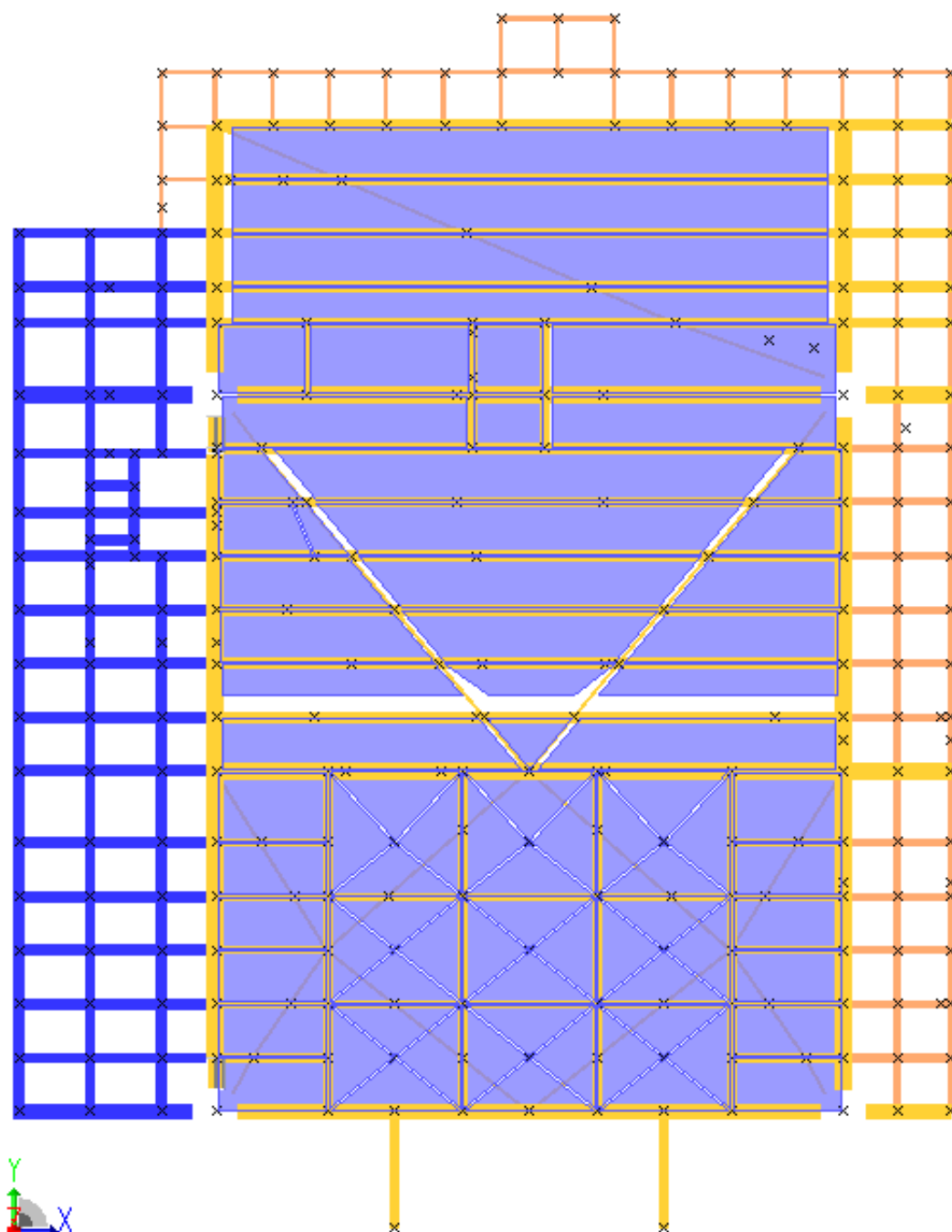
BW Platform Jacket 3D Model



Face ROW A – XZ Plane



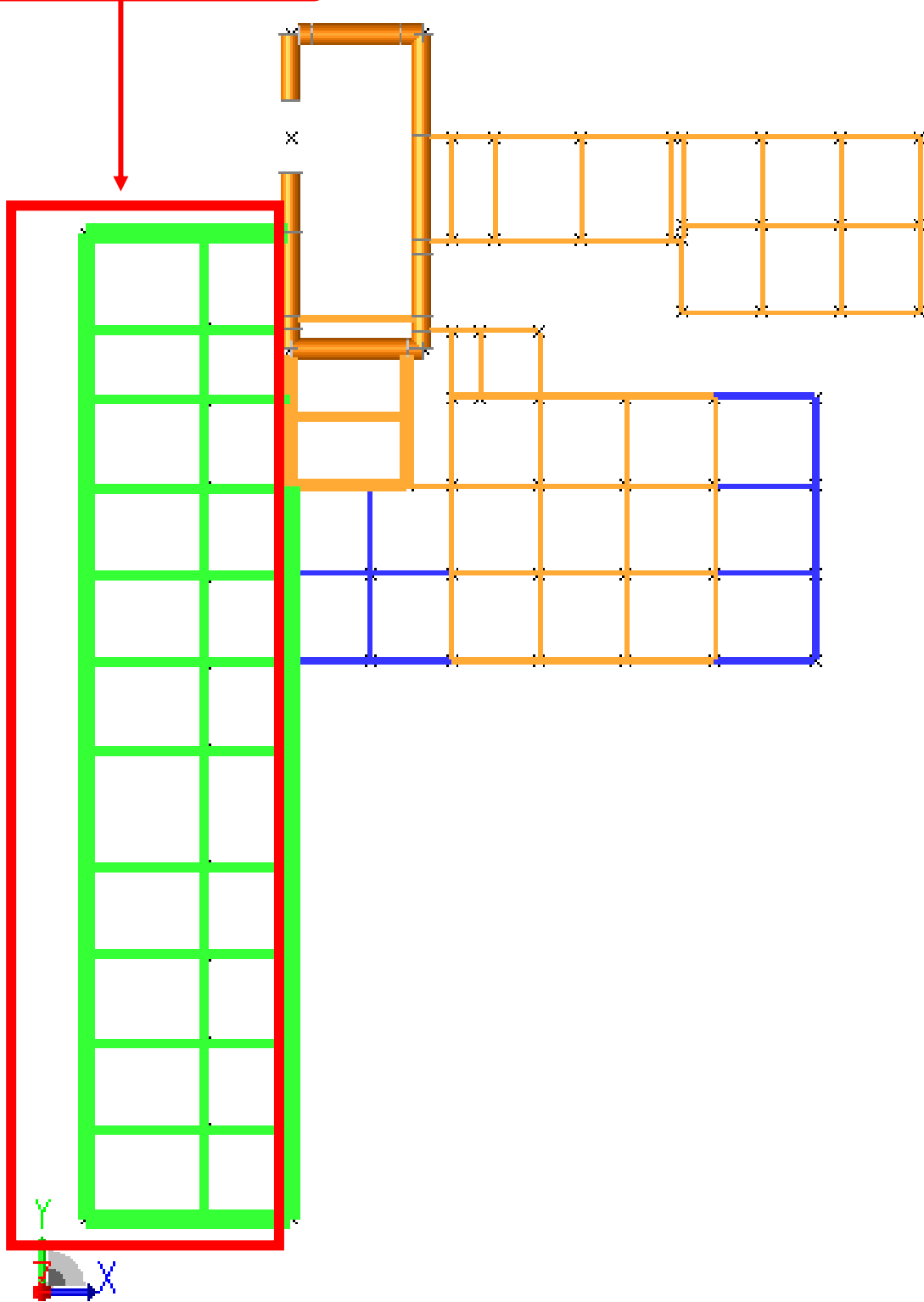
Face ROW 1 – YZ Plane



Cellar Deck Framing Plan

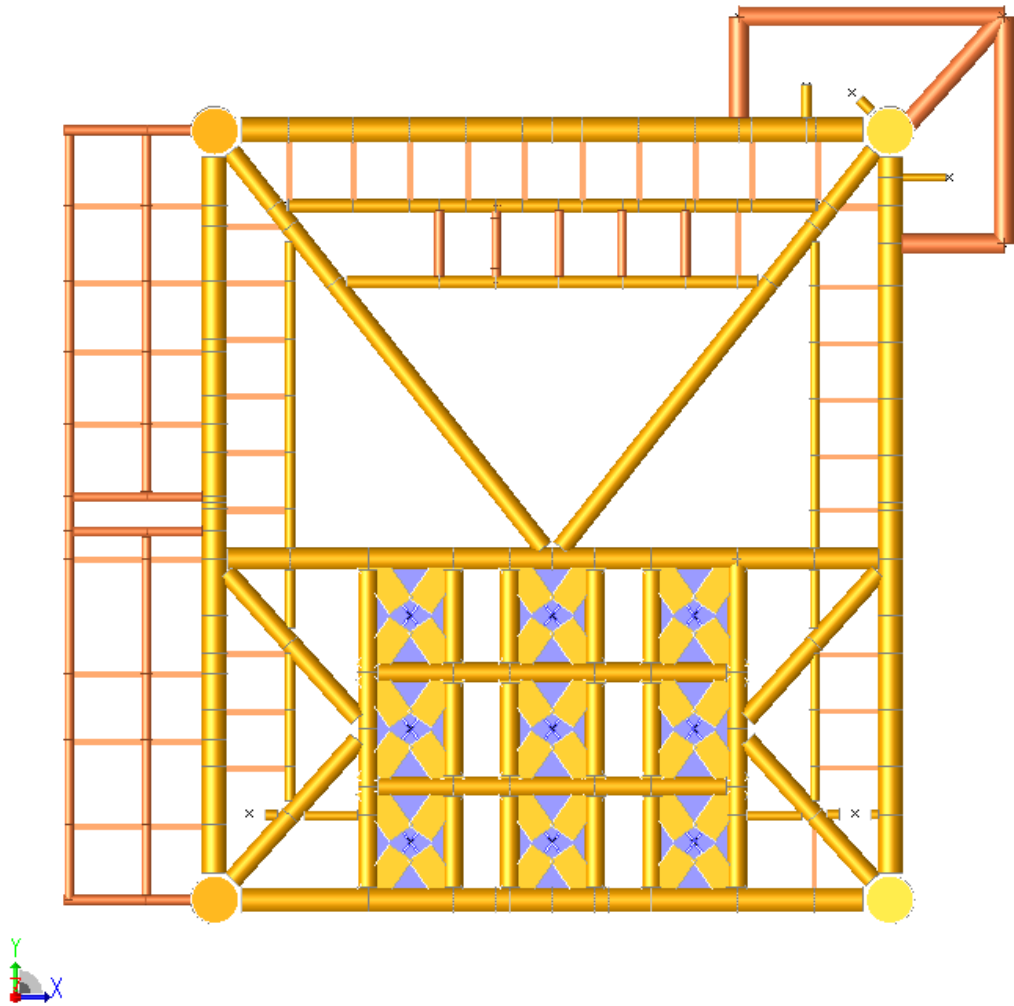
El. (+) 29'-0"

Sub Cellar Extension



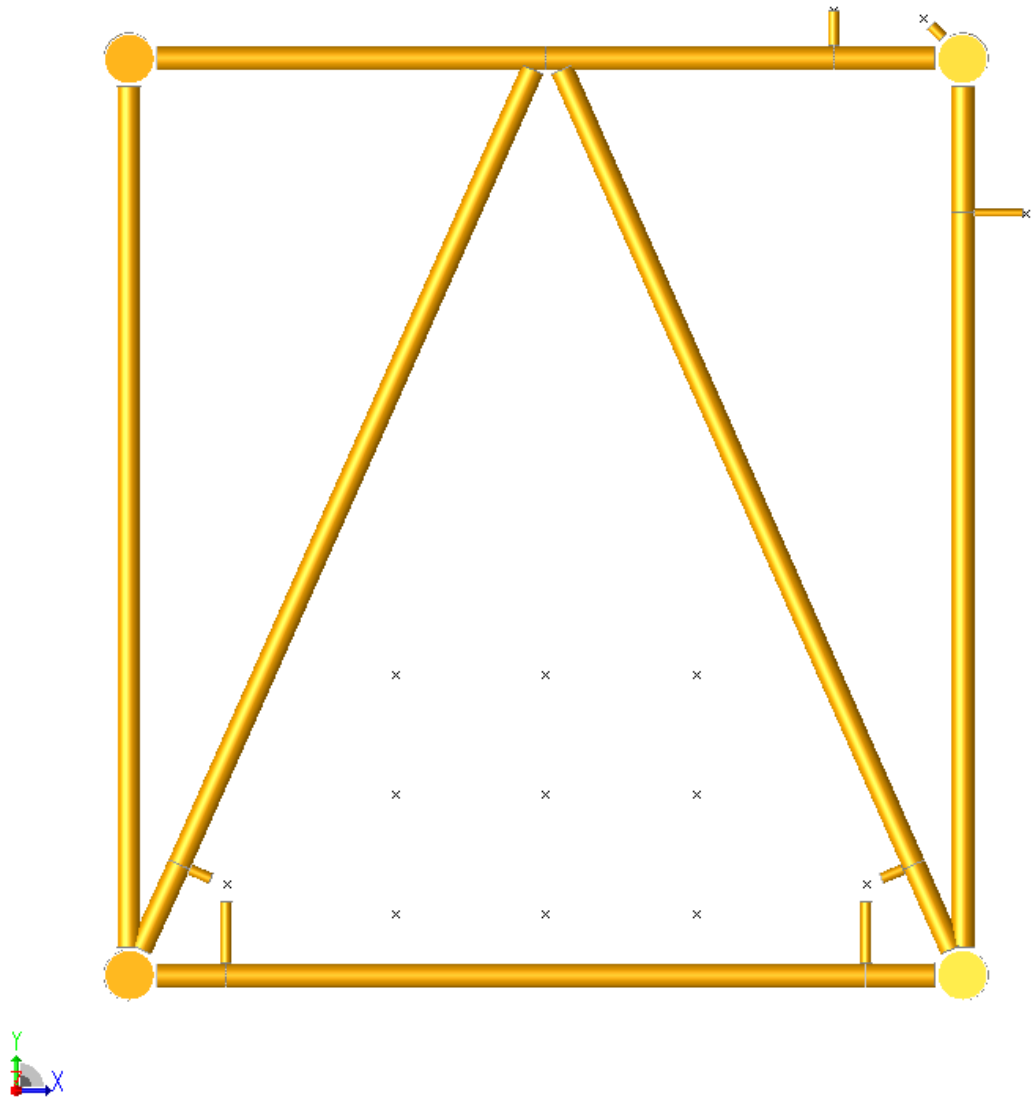
Sub Cellar Deck & Extension Deck Framing Plan

El. (+) 18'-7"



Jacket Walkway Framing Plan

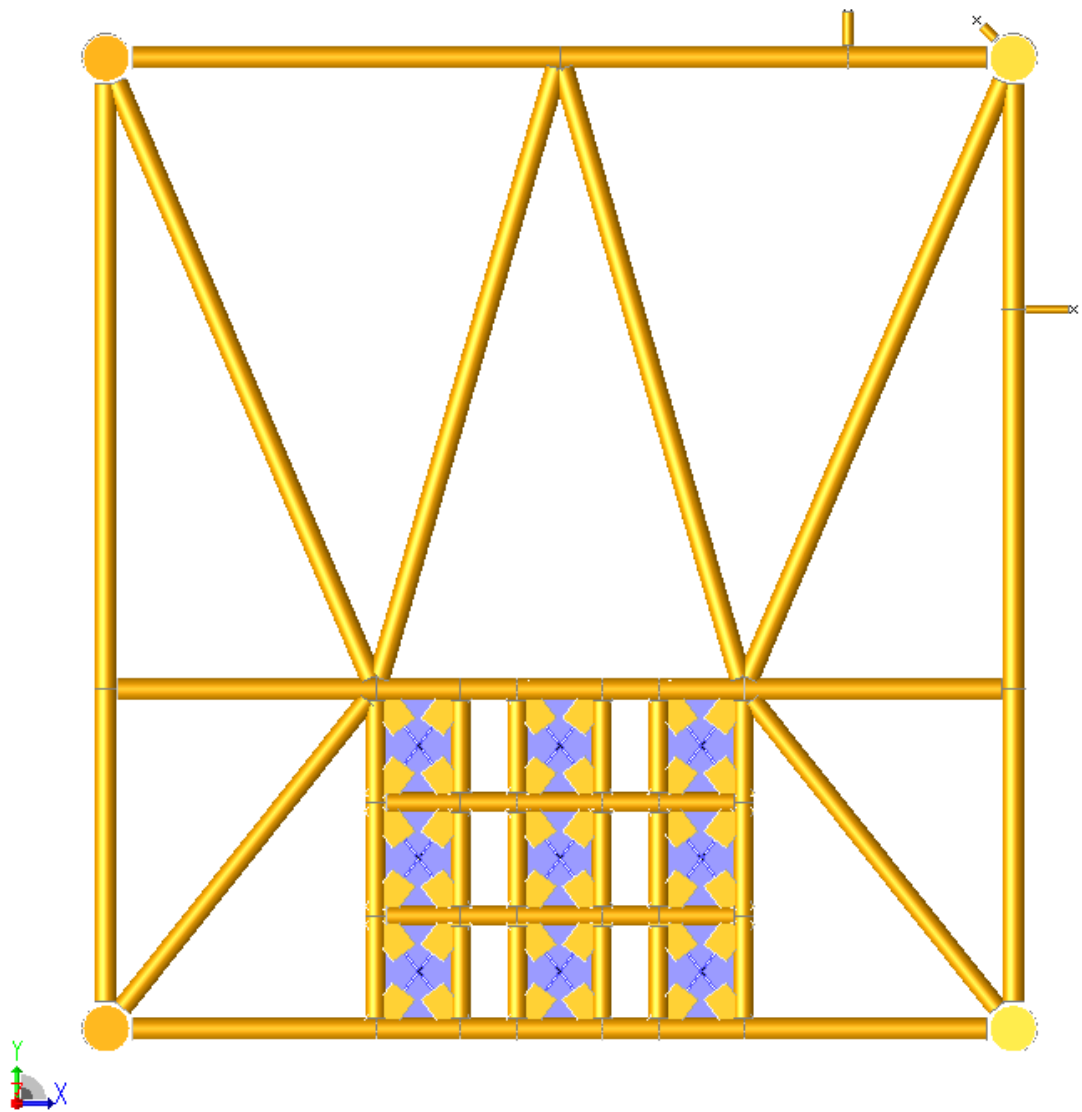
El. (+) 12'-0"



Jacket Horizontal Framing Plan

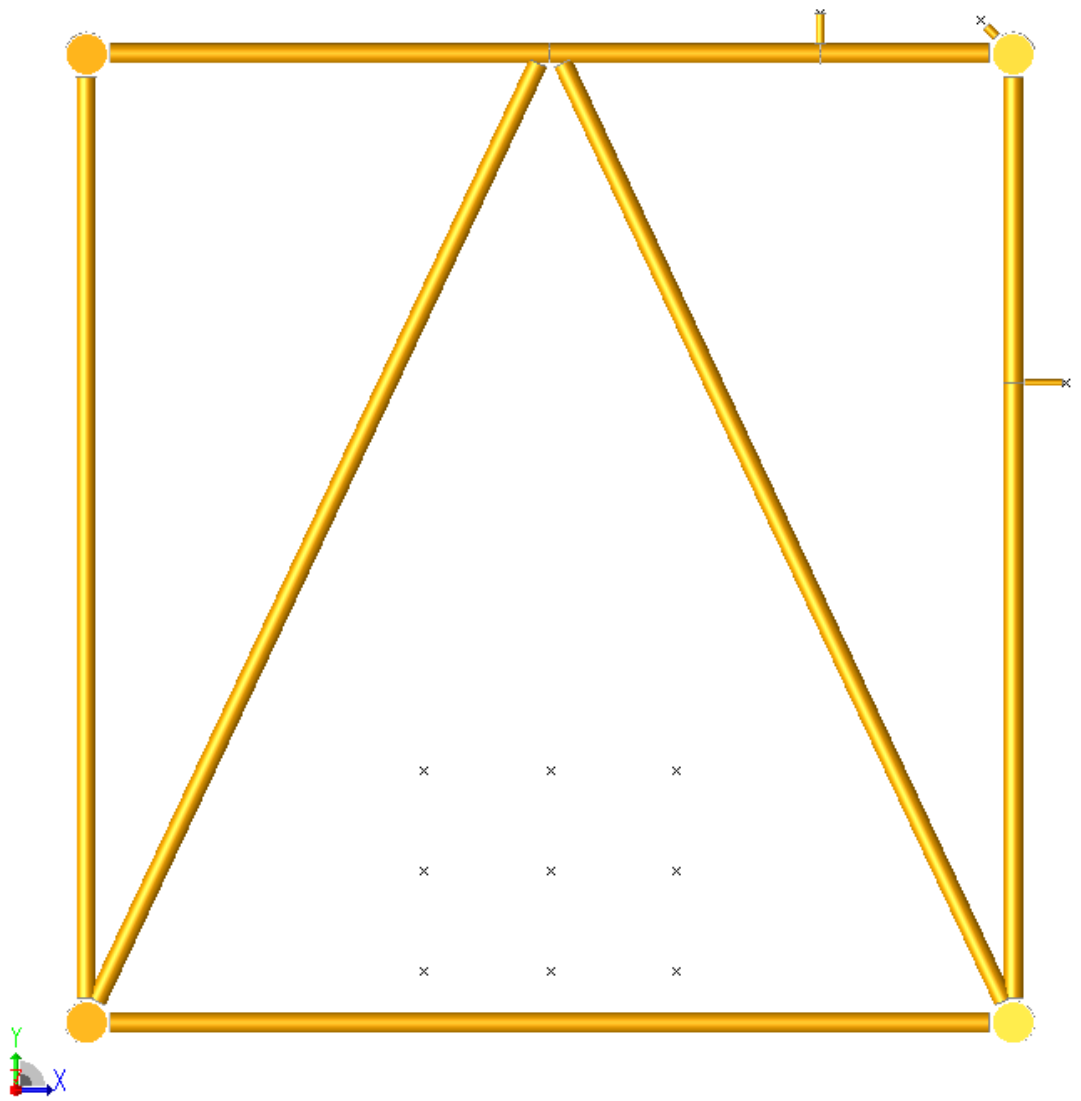
El. (-) 30'-0"





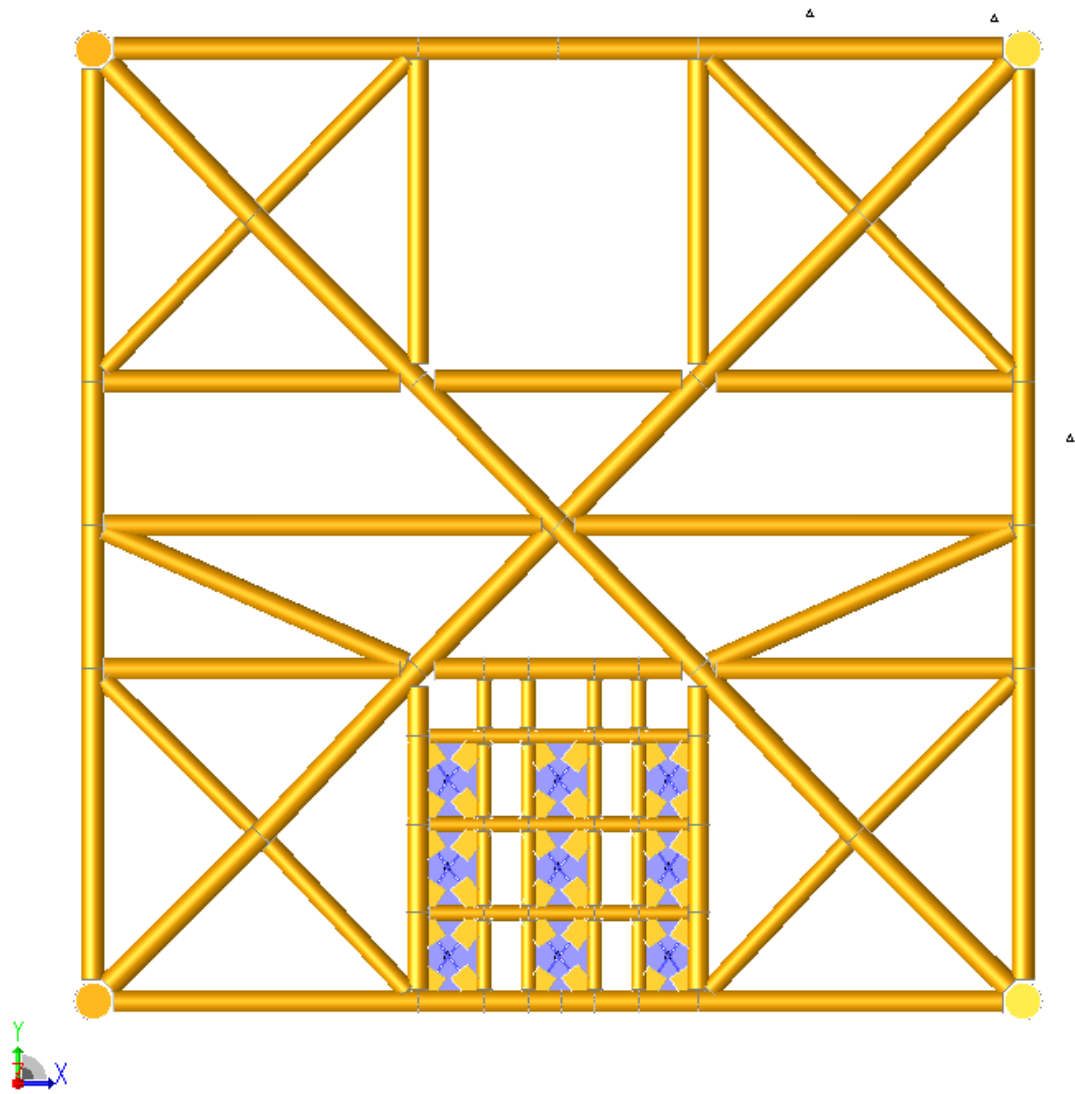
Jacket Horizontal Framing Plan

El. (-) 75'-0"



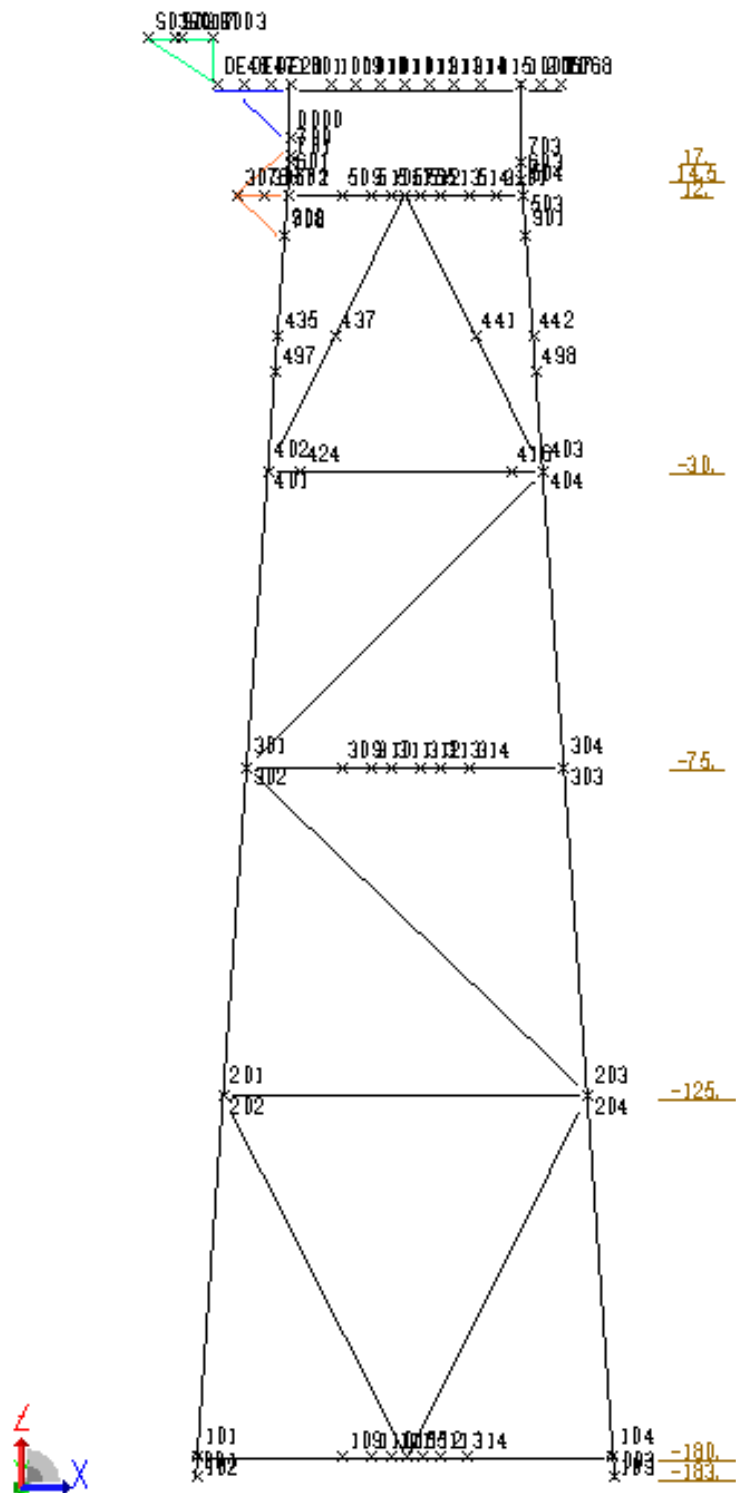
Jacket Horizontal Framing Plan

El. (-) 125'-0"



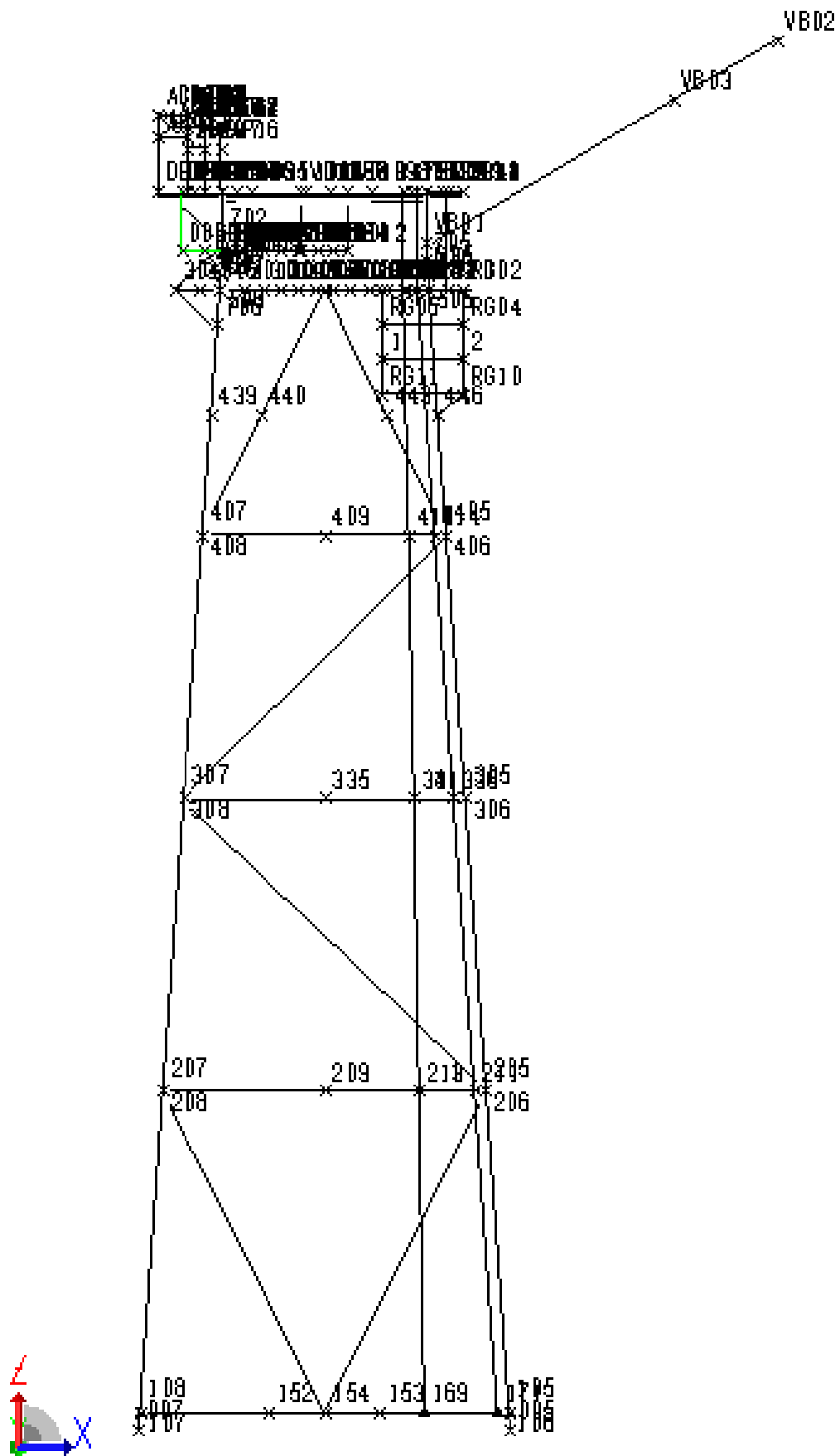
Mudline Framing Plan

El. (-) 180'-0"



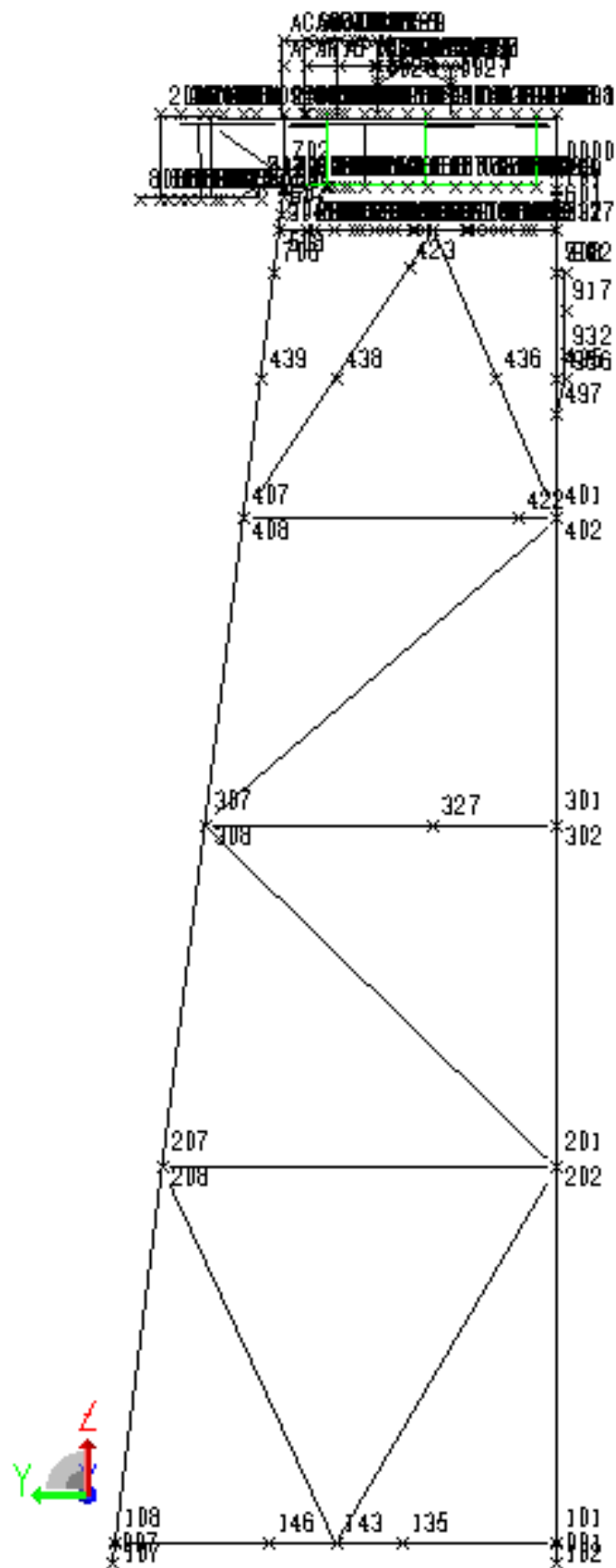
Joint Label – XZ Plane (-20)

ROW A



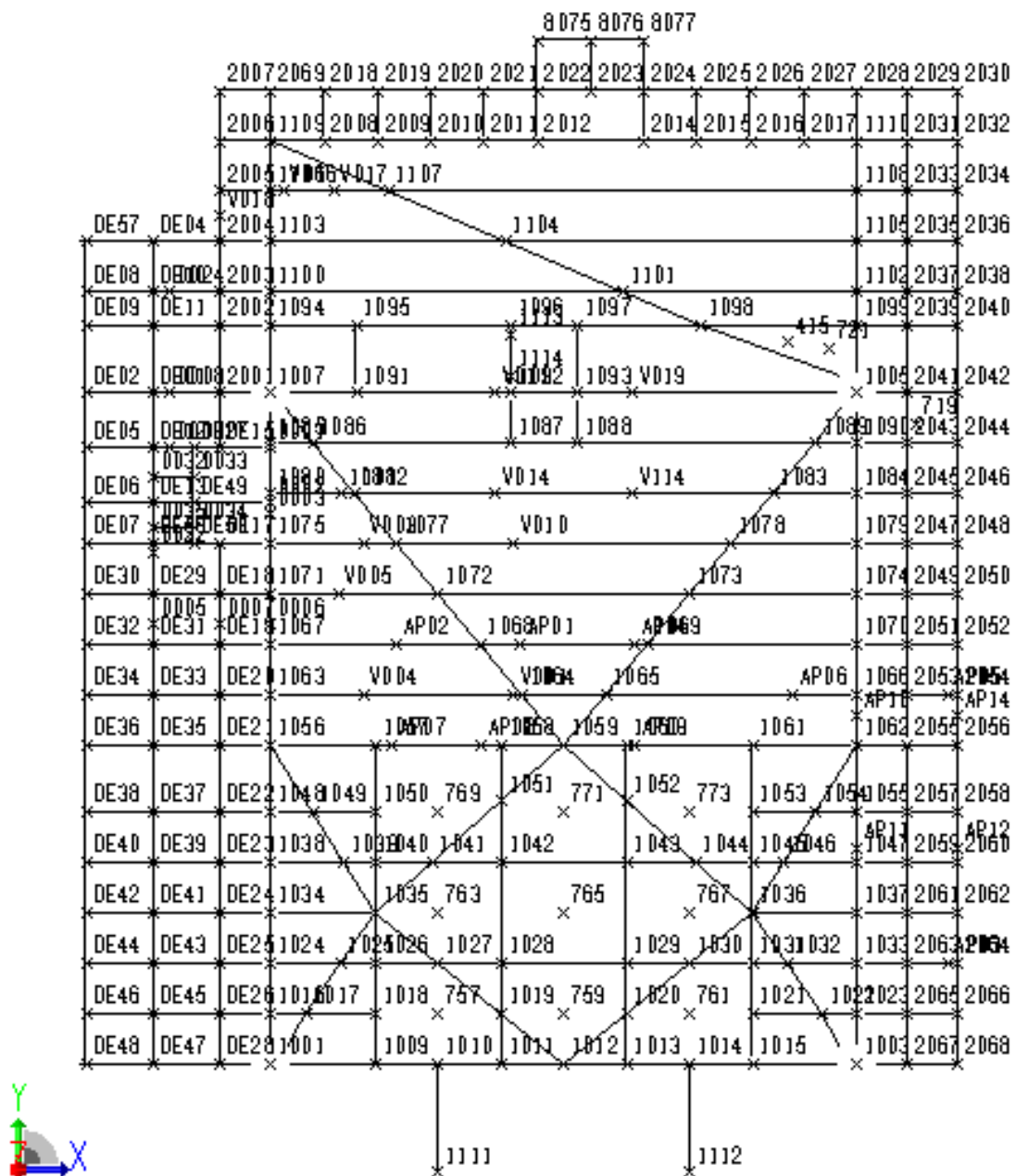
Joint Label – XZ Plane (Joint 1007, 007, 005)

ROW B



Joint Label – YZ Plane (Joint 1007, 007, 001)

ROW 1



Joint Label – XY Plane

Cellar Deck

El. (+) 29'-0"

Sub Cellar  
Extension Deck



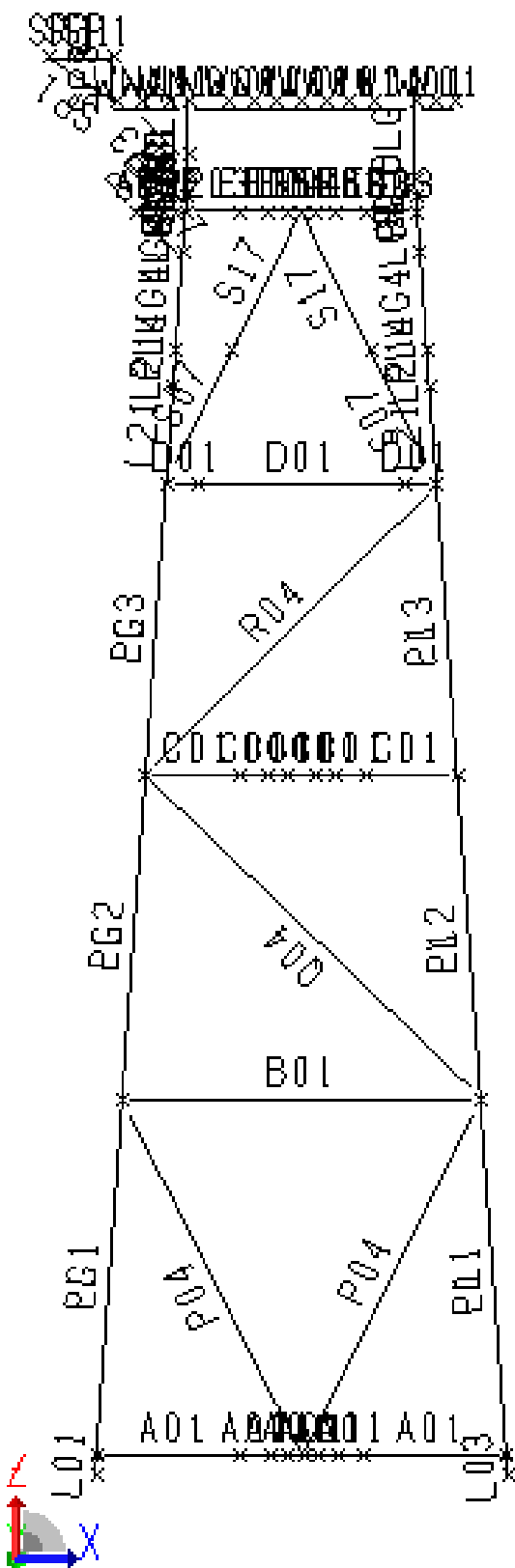
Joint Label – XY Plane

Sub Cellar Deck Framing Plan

El. (+) 18'-7"



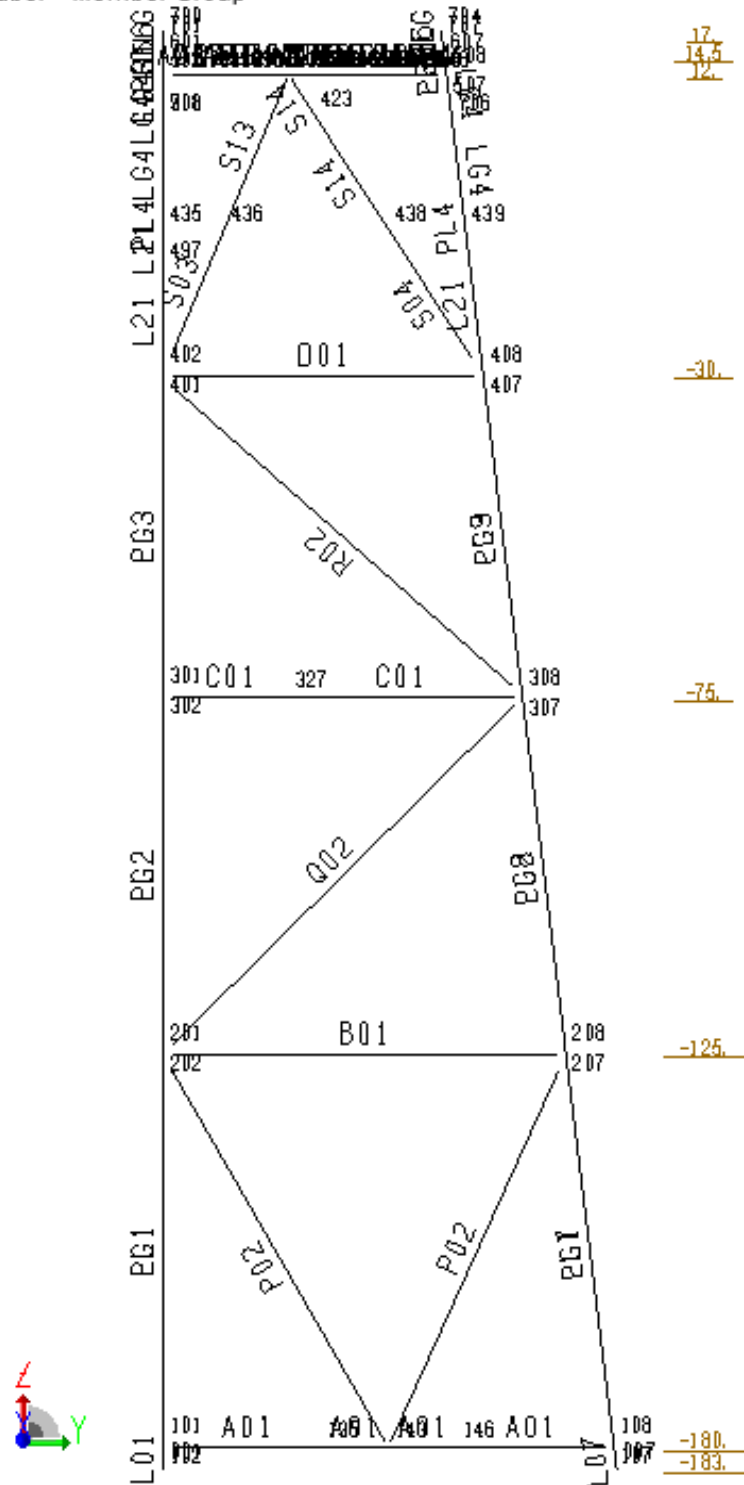
Label = Member Group



Member Group Label – XZ Plane

ROW A

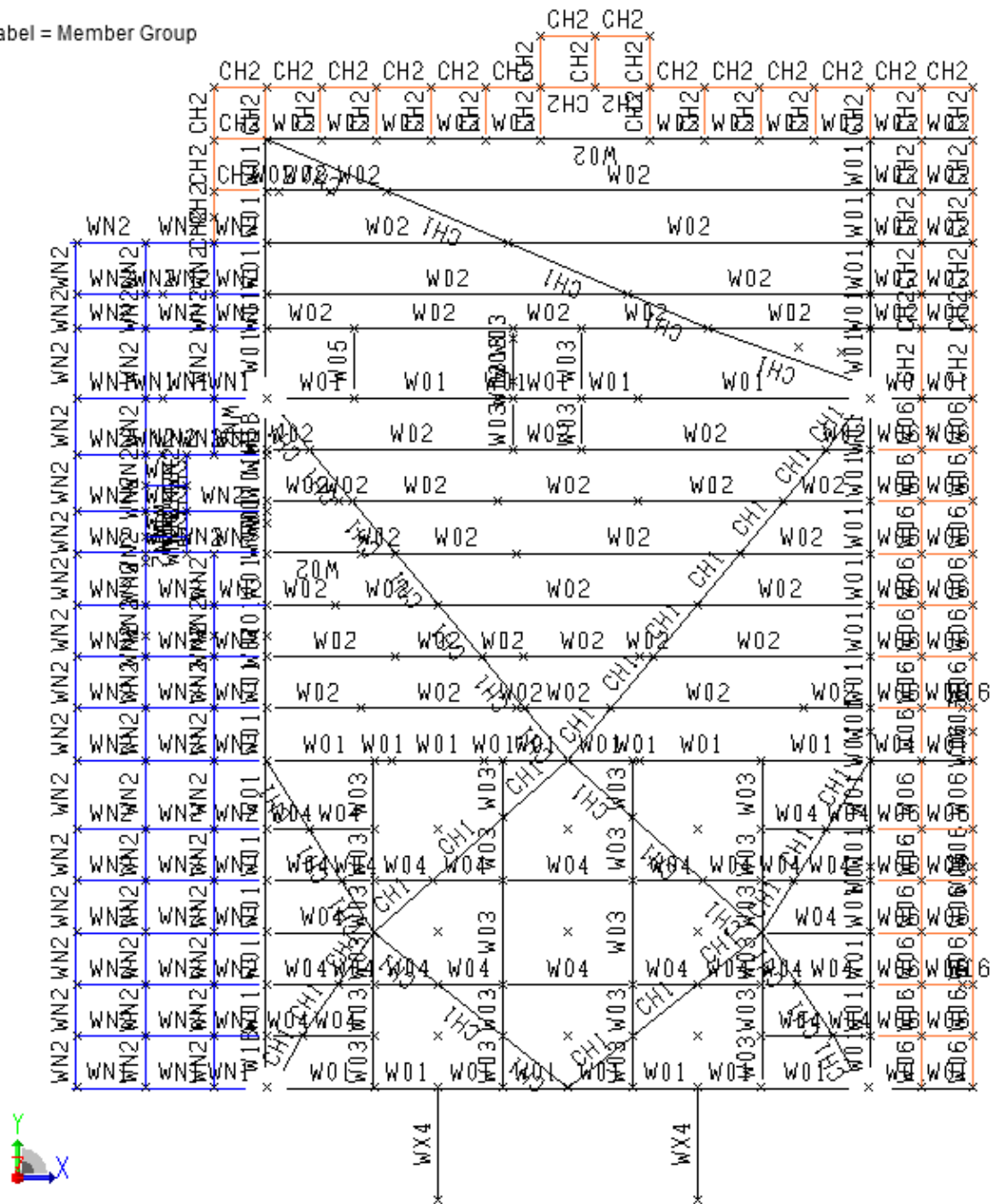
Label = Member Group



Member Group Label – YZ Plane

ROW 1

Label = Member Group



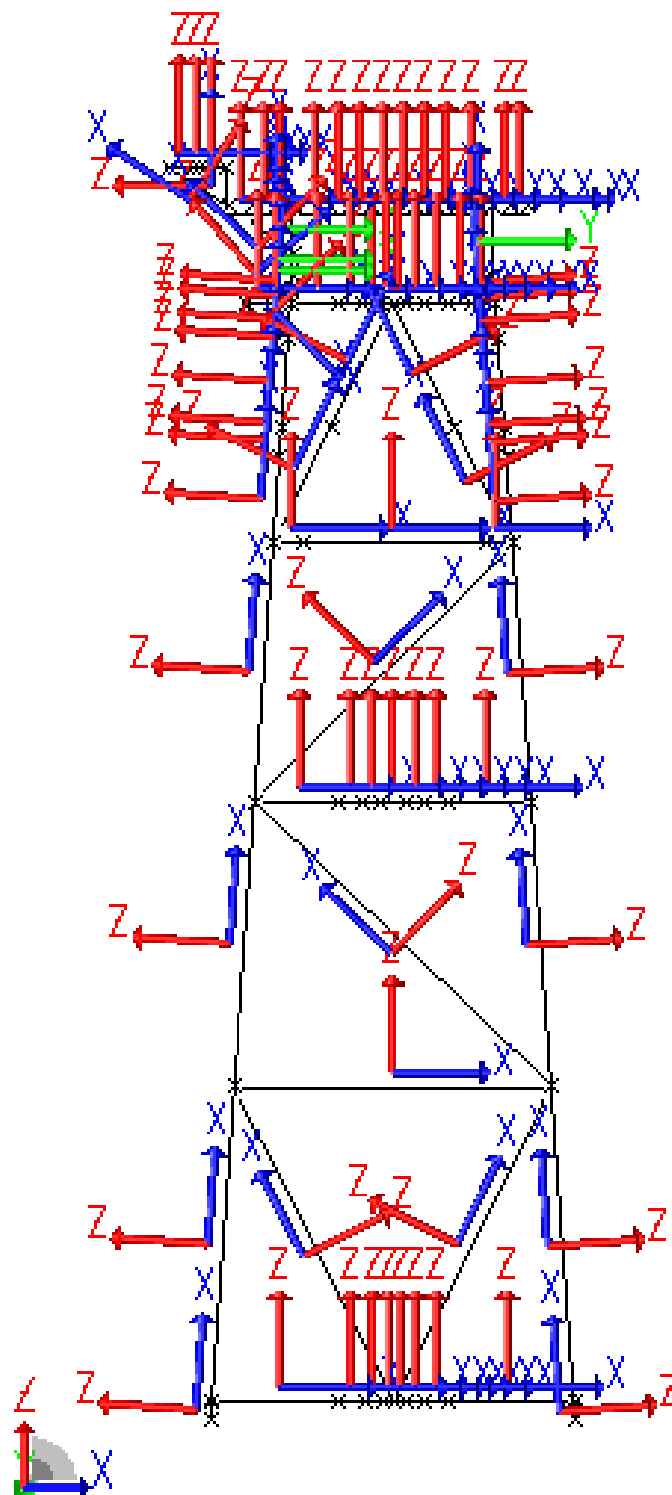
Member Group Label – XY Plane

Cellar Deck Framing Plan

El. (+) 29'-0



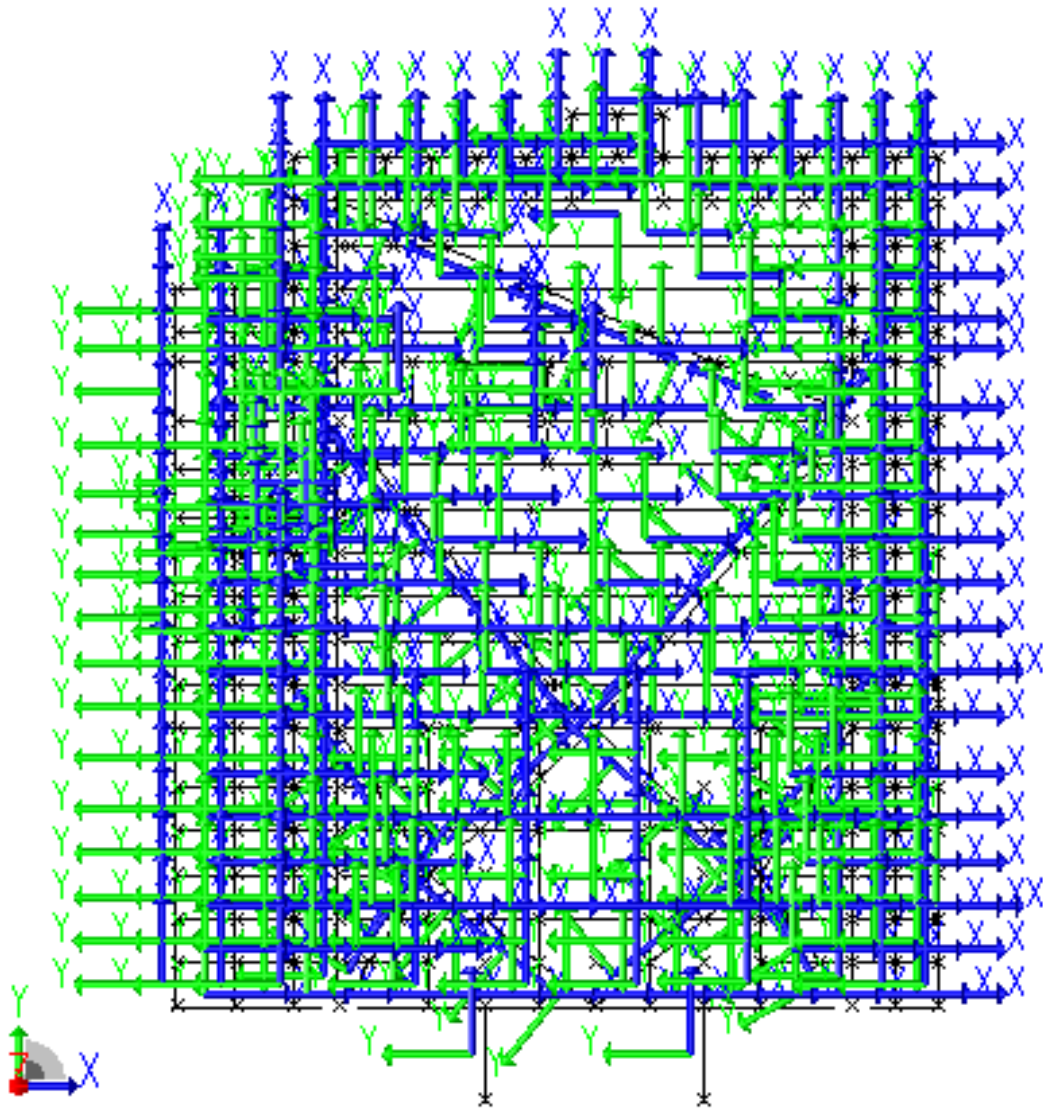
Label = Member Local Coordinates



Member Local Coordinate – XZ Plane

ROW A

Label = Member Local Coordinates

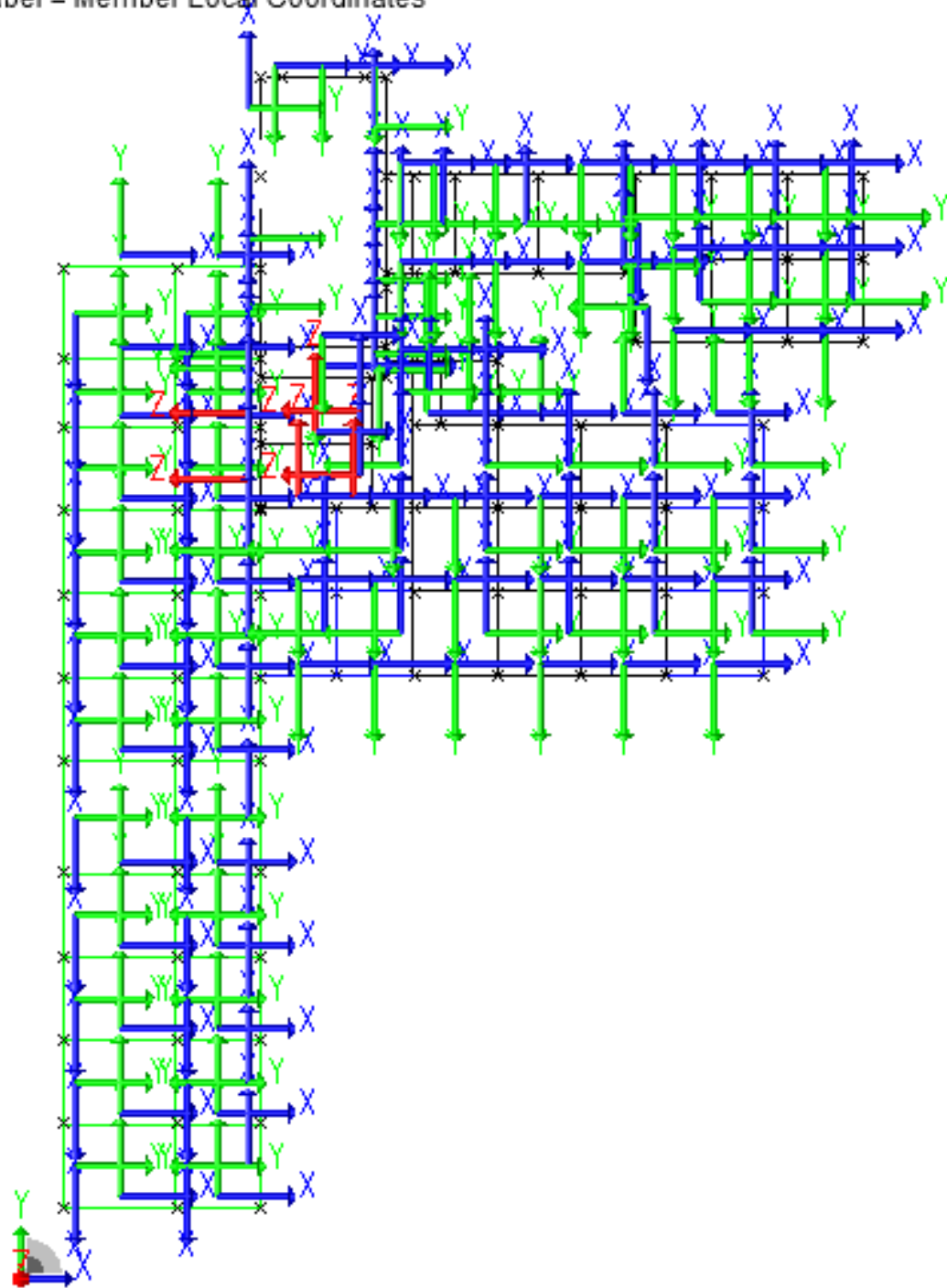


Member Local Coordinate – XY Plane

Cellar Deck

El. (+) 29'-0"

Label = Member Local Coordinates



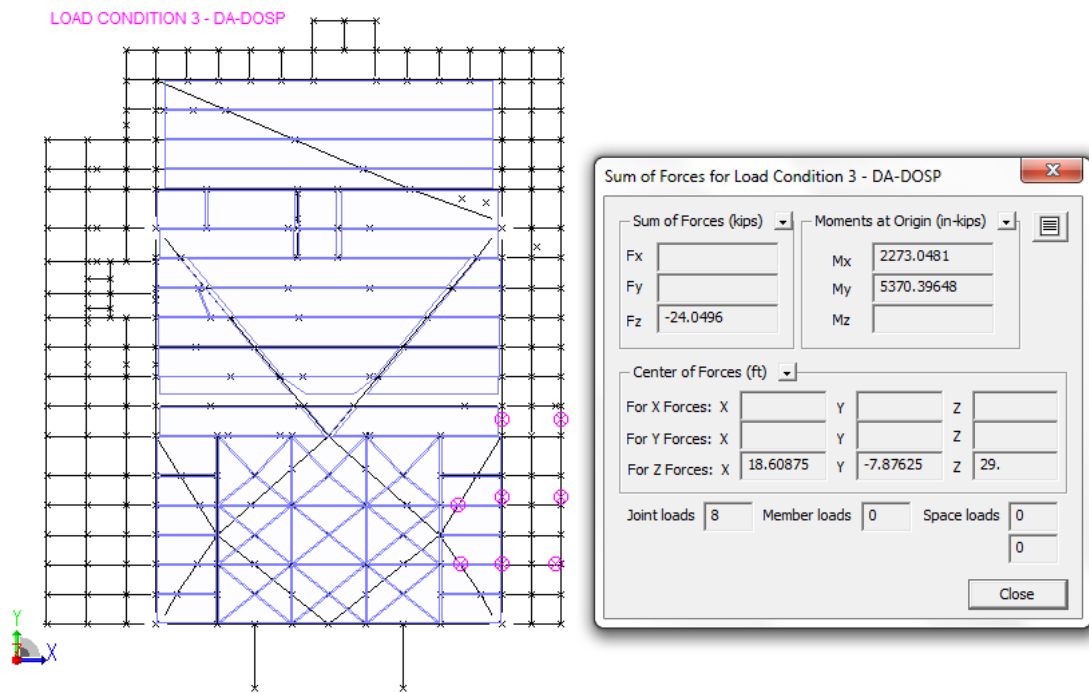
Member Local Coordinate – XY Plane

Sub-Cellar & Extension Deck

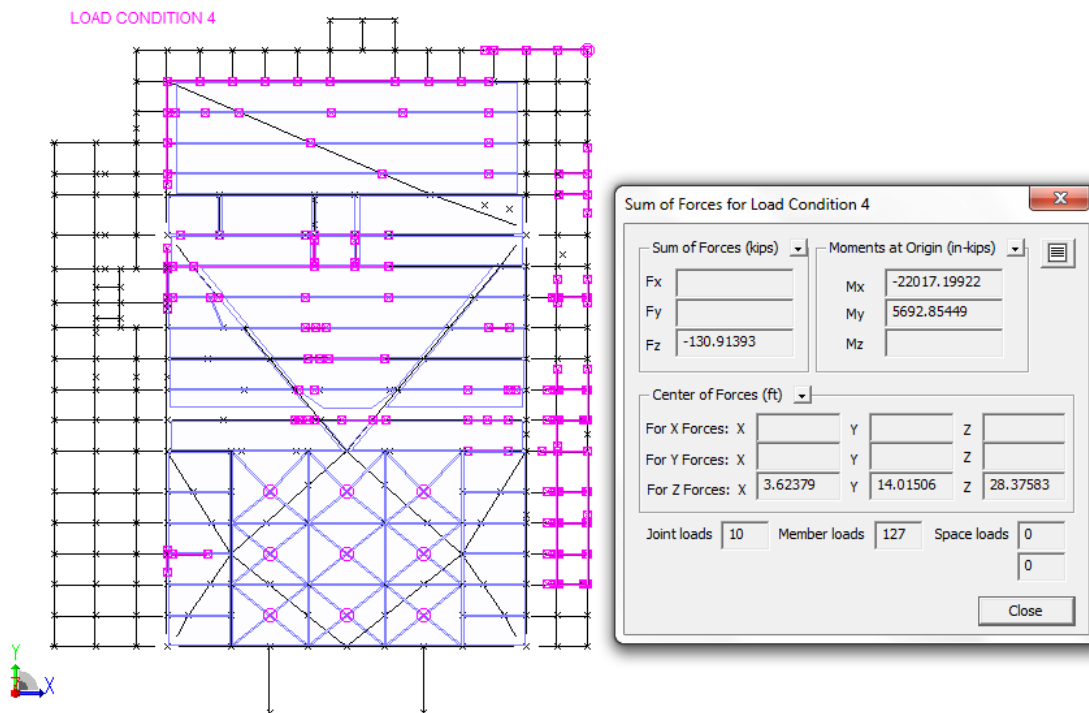
El. (+) 18'-7"

**LAMPIRAN B**  
**LOADING PLOT**



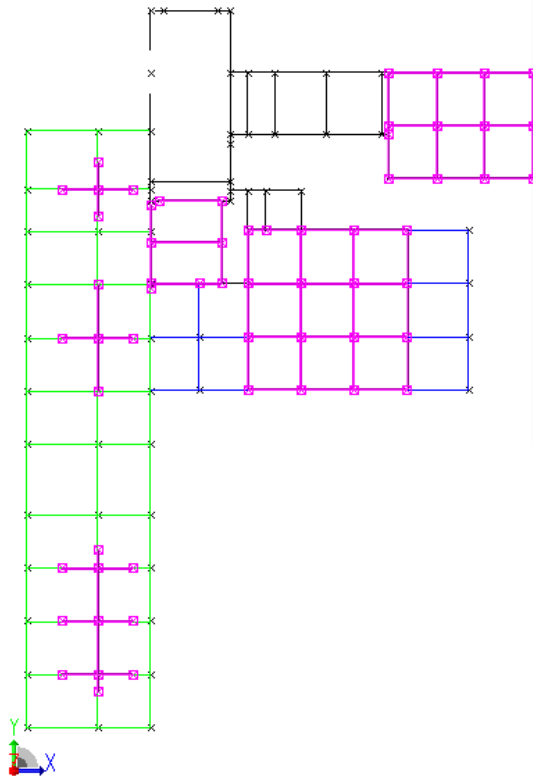


**Load Condition 3 : Non-Generated Dead Load (Existing) at Cellar Deck (+)**  
**29'-0"**



**Load Condition 4 : Equipment Load (Existing) at Cellar Deck (+)**  
**29'-0"**

LOAD CONDITION 4



Sum of Forces for Load Condition 4

Sum of Forces (kips)		Moments at Origin (in-kips)	
Fx		Mx	-1259.01001
Fy		My	-3906.13696
Fz	-19.7215	Mz	

Center of Forces (ft)

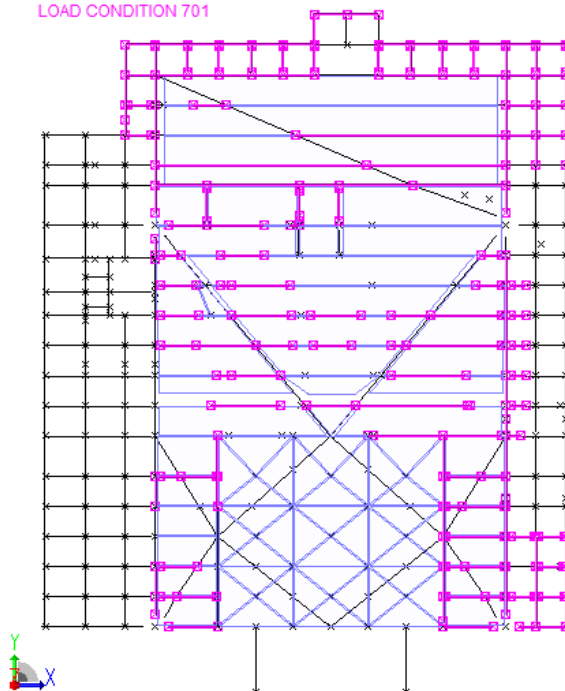
For X Forces:			For Y Forces:			For Z Forces:		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
						-16.50541	5.31995	18.61145

Joint loads: 0    Member loads: 94    Space loads: 0

Close

**Load Condition 4 : Equipment load at Sub Cellar Deck EL. (+)  
18'-7"(New)**

LOAD CONDITION 701



Sum of Forces for Load Condition 701

Sum of Forces (kips)		Moments at Origin (in-kips)	
Fx		Mx	-11525.58398
Fy		My	3409.84448
Fz	-67.90544	Mz	

Center of Forces (ft)

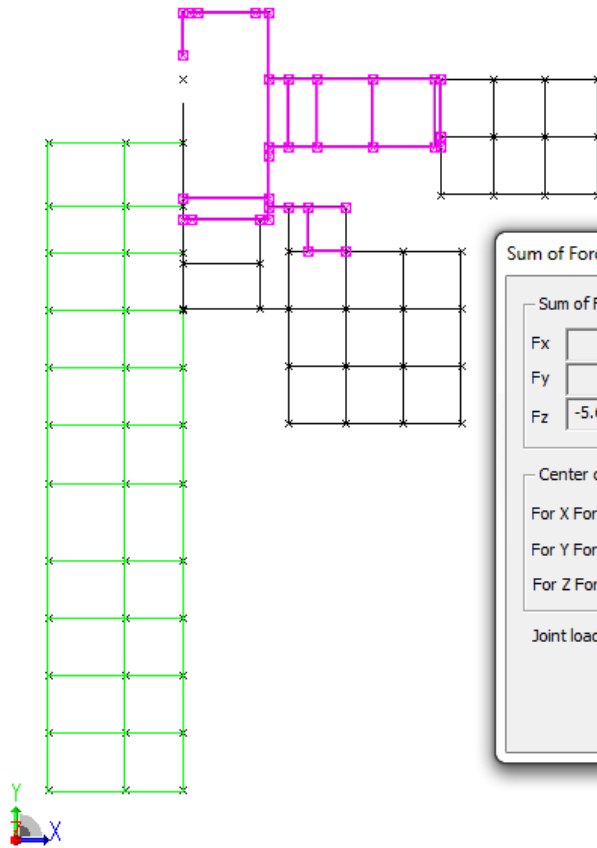
For X Forces:			For Y Forces:			For Z Forces:		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
						4.18455	14.14416	28.2661

Joint loads: 0    Member loads: 179    Space loads: 0

Close

**Load Condition 13 : Live Load at Cellar Deck**

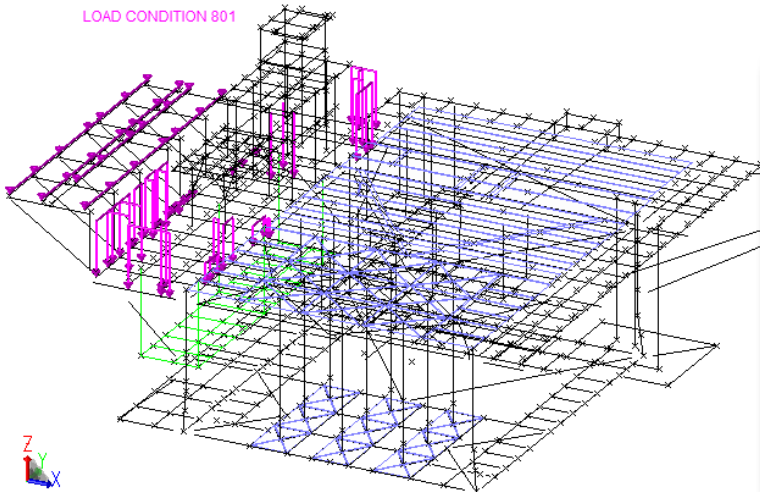
LOAD CONDITION 703 - LL19



Sum of Forces for Load Condition 703 - LL19		
Sum of Forces (kips)	Moments at Origin (in-kips)	
Fx	Mx -1180.91077	
Fy	My -736.87305	
Fz -5.66834	Mz	
Center of Forces (ft)		
For X Forces: X	Y	Z
For Y Forces: X	Y	Z
For Z Forces: X -10.83317	Y 17.3612	Z 18.64544
Joint loads 0	Member loads 35	Space loads 0
Close		

**Load Condition 703 : Live Load at Sub-Cellar Deck EL. (+) 18'-7"**

LOAD CONDITION 801



Sum of Forces for Load Condition 801		
Sum of Forces (kips)	Moments at Origin (in-kips)	
Fx	Mx -3313.92017	
Fy	My -9073.10547	
Fz -32.88605	Mz	
Center of Forces (ft)		
For X Forces: X	Y	Z
For Y Forces: X	Y	Z
For Z Forces: X -22.99127	Y 8.39748	Z 28.44617
Joint loads 0	Member loads 61	Space loads 0
Close		

**Load Condition 801 : Equipment Load**

**LAMPIRAN C**  
**INPLACE ANALYSIS OUPUT**

## IN-PLACE OPERATING OUTPUT

### 7.1 Basic Load Case

\*\* SEASTATE BASIC LOAD CASE DESCRIPTIONS \*\*

LOAD    LOAD    \*\*\*\*\* DESCRIPTION \*\*\*\*\*

CASE LABEL

1	3	NON-GENERATED DEAD LOAD (EXISTING)
2	4	EQUIPMENT LOAD (EXISTING)
3	5	DECK APPURTENANCES (EXISTING)
4	6	JACKET APPURTENANCES (EXISTING)
5	11	CRANE SELFWEIGHT (UN-OPERATIONAL)
6	12	CRANE BOOM REST (UN-OPERATIONAL)
7	13	CRANE VERTICAL LOAD
8	14	CRANE MOMENT LOAD (X-DIR)
9	15	CRANE MOMENT LOAD (Y-DIR)
10	701	LIVE LOAD 100PSF AT CELLAR DECK
11	702	LIVE LOAD 75 PSF AT JACKET WALKWAY
12	703	LIVE LOAD 75 PSF AT MEZZANINE DECK
13	801	EQUIPMENT LOAD (NEW)
14	802	PIPING LOAD ESTIMATION (NEW)
15	803	LIVE LOAD (NEW)
16	804	DECK APPURTENANCES - GRATING AND HANDRAILS (NEW)
17	805	LIVE LOAD AT ACCESS PLATFORM
18	806	APPURTENANCE AT ACCESS PLATFORM
19	901	NEW LIVE LOAD AT EXTENSION DOG HOUSE (200 PSF)

20      101      DEAD LOAD (MAXIMUM WATER DEPTH - FOR OPERATING  
CONDITION)

21   102   DEAD LOAD (MINIMUM WATER DEPTH - FOR OPERATING CONDITION)

22   WO01   ENVIRONMENTAL 0 DEG (MAX. WD)

23   WO02   ENVIRONMENTAL 45 DEG (MAX. WD)

24   WO03   ENVIRONMENTAL 90 DEG (MAX. WD)

25   WO04   ENVIRONMENTAL 135 DEG (MAX. WD)

26   WO05   ENVIRONMENTAL 180 DEG (MAX. WD)

27   WO06   ENVIRONMENTAL 225 DEG (MAX. WD)

28   WO07   ENVIRONMENTAL 270 DEG (MAX. WD)

29   WO08   ENVIRONMENTAL 315 DEG (MAX. WD)

30   WO11   ENVIRONMENTAL 0 DEG (MIN. WD)

31   WO12   ENVIRONMENTAL 45 DEG (MIN. WD)

32   WO13   ENVIRONMENTAL 90 DEG (MIN. WD)

33   WO14   ENVIRONMENTAL 135 DEG (MIN. WD)

34   WO15   ENVIRONMENTAL 180 DEG (MIN. WD)

35   WO16   ENVIRONMENTAL 225 DEG (MIN. WD)

36   WO17   ENVIRONMENTAL 270 DEG (MIN. WD)

37   WO18   ENVIRONMENTAL 315 DEG (MIN. WD)

\*\*\*\*\* SEASTATE COMBINED LOAD CASE SUMMARY \*\*\*\*\*

RELATIVE TO MUDLINE ELEVATION

LOAD	LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
CASE	LABEL	(KIPS)	(KIPS)	(KIPS)	(FT-KIPS)	(FT-KIPS)	(FT-KIPS)
38	CRN	0.000	0.000	-44.700	894.000	-617.750	0.000
39	TOP1	0.000	0.000	-565.648	-3348.384	-3281.045	0.000
40	1100	0.000	0.000	-1633.647	-3227.751	-3218.419	0.000
41	1200	0.000	0.000	-1661.248	-3110.315	-3136.361	0.000
42	CNO1	0.000	0.000	-64.329	1286.580	-2492.424	0.000
43	CNO2	0.000	0.000	-64.329	303.947	-2075.591	0.000
44	CNO3	0.000	0.000	-64.329	-80.087	-1125.758	0.000
45	CNO4	0.000	0.000	-64.329	303.947	-175.924	0.000
46	CNO5	0.000	0.000	-64.329	1286.580	240.909	0.000
47	CNO6	0.000	0.000	-64.329	2269.214	-175.924	0.000
48	CNO7	0.000	0.000	-64.329	2653.247	-1125.758	0.000
49	CNO8	0.000	0.000	-64.329	2269.214	-2075.591	0.000
50	1001	133.858	-1.084	-1702.532	-1734.736	14431.100	460.592
51	1002	102.110	101.199	-1699.303	-18069.252	9963.365	552.738
52	1003	0.017	133.788	-1697.431	-23478.914	-4383.357	113.501
53	1004	-105.620	105.464	-1700.339	-18812.736	-19303.994	-211.685
54	1005	-136.788	-0.447	-1704.335	-1932.724	-23696.047	-339.854
55	1006	-99.261	-100.116	-1706.285	13932.058	-18204.605	-502.588
56	1007	0.268	-126.984	-1706.593	18569.564	-4249.863	-175.872
57	1008	102.435	-103.566	-1705.997	14697.076	10231.968	195.898

58	1011	140.696	-1.202	-1731.670	-1599.808	15186.957	447.286
59	1012	106.878	104.148	-1727.531	-18042.748	10432.633	563.210
60	1013	0.134	136.620	-1726.349	-23307.662	-4265.831	108.837
61	1014	-110.789	108.845	-1726.789	-18822.756	-19654.697	-225.729
62	1015	-143.965	-0.437	-1732.203	-1824.759	-24130.289	-331.117
63	1016	-102.511	-102.408	-1736.448	14077.836	-18313.373	-519.806
64	1017	0.320	-128.690	-1736.548	18359.150	-4166.604	-194.260
65	1018	106.770	-106.436	-1735.354	14870.832	10616.193	195.161

## 7.2 Member Unity Check Summary

### SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

GROUP I - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.50 AND LESS THAN 0.80

MAXIMUM LOAD DIST AXIAL BENDING STRESS SHEAR FORCE  
SECOND-HIGHEST THIRD-HIGHEST

MEMBER GROUP COMBINED COND FROM STRESS Y Z FY FZ  
KLY/RY KLZ/RZ UNITY LOAD UNITY LOAD

ID UNITY CK NO. END KSI KSI KSI KIPS KIPS CHECK  
COND CHECK COND

3065-3064 AD2 0.565 1004 0.0 0.37 -14.53 -2.71 0.37 1.82 16.8 16.8 0.557  
1003 0.556 1005

3066-3065 AD2 0.590 1004 1.8 0.40 -15.38 -1.04 -0.62 -2.03 8.0 8.0 0.585  
1005 0.584 1014



[illegible]

[illegible]



\*\*\* MEMBER GROUP SUMMARY \*\*\*

API RP2A 21ST/AISC 9TH

MAX. DIST

EFFECTIVE CM

GROUP CRITICAL LOAD UNITY FROM \* APPLIED STRESSES \* \*\*\* ALLOWABLE  
STRESSES \*\*\* CRIT LENGTHS \* VALUES \*

ID	MEMBER	COND	CHECK	END	AXIAL	BEND-Y	BEND-Z	AXIAL	EULER
BEND-Y	BEND-Z	COND	KLY	KLZ	Y	Z			

FT   KSI   KSI   KSI   KSI   KSI   KSI   KSI   FT   FT

A01	142-	145	1017	0.15	0.0	-1.40	-0.86	0.37	18.00	101.75	27.00	27.00	HYDRO
19.8	7.8	0.85	0.85										

[illegible][illegible]

A04	151-	153	1100	0.12	0.0	0.13	0.12	0.06	18.00	246.30	27.00	27.00	HYDRO
9.0	11.3	0.85	0.85										

[illegible]

A69 153- 105 1100 0.15 0.0 0.04 0.00 -0.05 18.00 112.51 27.00 27.00 HYDRO  
18.8 16.5 0.85 0.85

A80 114- 103 1100 0.17 0.0 -0.05 0.00 -0.07 18.00 107.17 27.00 27.00 HYDRO  
19.3 16.5 0.85 0.85

AD2 3066-3065 1004 0.59 1.8 0.40 -15.38 -1.04 21.60 2341.35 27.00 27.00 TN+BN  
1.5 1.5 0.85 0.85

AD4 503- 581 1008 0.30 0.0 2.75 -4.33 -0.85 21.60 29.53 25.34 25.34 TN+BN  
32.5 2.5 0.85 0.85

AD5 535-3053 1008 0.28 0.0 -1.66 -4.06 3.27 19.20 93.65 27.00 27.00 C<.15  
18.1 1.2 0.85 0.85

AD6 3087-3052 1008 0.19 0.4 -2.49 -1.29 0.68 19.42 121.21 25.34 25.34 C<.15  
18.1 0.5 0.85 0.85

ADA 3048- 507 1003 0.43 2.6 1.64 -8.79 1.58 21.60 95.30 25.34 25.34 TN+BN  
18.1 2.1 0.85 0.85

ADB 3010-3009 1017 0.15 2.8 -0.98 2.56 -0.55 19.09 95.84 25.34 25.34 C<.15  
18.1 2.3 0.85 0.85

ADC 545-3010 1014 0.18 0.0 -0.71 -3.63 -0.82 19.22 95.04 25.72 25.72 C<.15  
18.1 2.1 0.85 0.85

ADD 3017- 556 1016 0.23 1.6 -0.69 -4.77 1.65 18.69 70.29 26.40 26.40 C<.15  
14.2 21.0 0.85 0.85

ADE 510- 511 1011 0.33 0.0 -4.65 2.57 -0.21 19.73 156.07 25.34 25.34 C>.15A  
14.2 2.4 0.85 0.85

ADF 512- 513 1011 0.20 3.0 -2.33 1.73 -1.29 19.73 156.07 25.34 25.34 C<.15  
14.2 2.4 0.85 0.85

AP1 0004-DE37 1014 0.63 4.1 -0.72 -13.25 1.05 19.19 93.13 23.76 27.00 C<.15  
4.1 4.1 0.85 0.85

AP2 AC50-AC30 1013 0.34 0.7 -0.53 7.37 0.10 21.22 1964.74 23.76 27.00 C<.15  
0.7 0.7 0.85 0.85

AP3 AC46-AC47 1014 0.12 0.0 -0.08 -2.09 0.33 20.43 291.03 21.60 21.60 C<.15  
1.8 1.8 0.85 0.85

AP4 0027-0029 1013 0.19 3.9 -1.56 2.30 -0.03 18.40 61.16 21.60 21.60 C<.15 3.9  
3.9 0.85 0.85

AP5 AC76-AC26 1003 0.27 0.0 -0.18 -5.13 -1.09 20.39 272.09 23.76 27.00 C<.15  
1.8 1.8 0.85 0.85

AP6 AP18-AC50 1003 0.39 0.0 -0.53 -7.83 0.00 18.69 70.26 21.60 21.60 C<.15  
3.6 3.6 0.85 0.85

### 7.3 Joint Can Summary

#### \* \* J O I N T   C A N   S U M M A R Y \* \*

(UNITY CHECK ORDER)

\*\*\*\*\* ORIGINAL \*\*\*\*\* DESIGN

\*\*\*\*\*

	JOINT	DIAMETER	THICKNESS	YLD STRS	UC	DIAMETER	THICKNESS	
	YLD STRS	UC						
	(IN)	(IN)	(KSI)	(IN)	(IN)	(KSI)		
544	13.750	0.305	36.000	0.749	13.750	0.305	36.000	0.749
702	30.000	0.750	36.000	0.740	30.000	0.750	36.000	0.740
8064	4.500	0.237	36.000	0.734	4.500	0.237	36.000	0.734
514	15.750	0.250	36.000	0.732	15.750	0.250	36.000	0.732
328	14.000	0.352	36.000	0.722	14.000	0.352	36.000	0.722
333	14.000	0.352	36.000	0.721	14.000	0.352	36.000	0.721
8060	4.500	0.237	36.000	0.717	4.500	0.237	36.000	0.717
8061	4.500	0.237	36.000	0.715	4.500	0.237	36.000	0.715
529	12.500	0.250	36.000	0.690	12.500	0.250	36.000	0.690
536	13.750	0.305	36.000	0.689	13.750	0.305	36.000	0.689
530	12.500	0.250	36.000	0.680	12.500	0.250	36.000	0.680
520	12.500	0.250	36.000	0.676	12.500	0.250	36.000	0.676
423	13.750	0.250	36.000	0.645	13.750	0.250	36.000	0.645
713	8.625	0.322	36.000	0.641	8.625	0.322	36.000	0.641
521	12.500	0.250	36.000	0.631	12.500	0.250	36.000	0.631

509	15.750	0.250	36.000	0.591	15.750	0.250	36.000	0.591
531	12.500	0.250	36.000	0.587	12.500	0.250	36.000	0.587
528	12.500	0.250	36.000	0.579	12.500	0.250	36.000	0.579
516	12.500	0.250	36.000	0.578	12.500	0.250	36.000	0.578
523	12.500	0.250	36.000	0.568	12.500	0.250	36.000	0.568
526	12.500	0.250	36.000	0.565	12.500	0.250	36.000	0.565
317	12.750	0.375	36.000	0.545	12.750	0.375	36.000	0.545
318	12.750	0.375	36.000	0.544	12.750	0.375	36.000	0.544
540	13.750	0.305	36.000	0.539	13.750	0.305	36.000	0.539
3065	6.375	0.155	36.000	0.525	6.375	0.155	36.000	0.525
3078	6.625	0.280	36.000	0.522	6.625	0.280	36.000	0.522
513	15.750	0.250	36.000	0.515	15.750	0.250	36.000	0.515
525	12.500	0.250	36.000	0.514	12.500	0.250	36.000	0.514
323	12.750	0.375	36.000	0.511	12.750	0.375	36.000	0.511
517	12.500	0.250	36.000	0.509	12.500	0.250	36.000	0.509
522	12.500	0.250	36.000	0.508	12.500	0.250	36.000	0.508
3041	8.375	0.197	36.000	0.507	8.375	0.197	36.000	0.507
324	12.750	0.375	36.000	0.506	12.750	0.375	36.000	0.506
3046	6.375	0.155	36.000	0.496	6.375	0.155	36.000	0.496
319	12.750	0.375	36.000	0.494	12.750	0.375	36.000	0.494
316	12.750	0.375	36.000	0.492	12.750	0.375	36.000	0.492
3047	6.625	0.280	36.000	0.492	6.625	0.280	36.000	0.492
535	15.750	0.710	36.000	0.481	15.750	0.710	36.000	0.481
510	15.750	0.250	36.000	0.472	15.750	0.250	36.000	0.472
322	12.750	0.375	36.000	0.459	12.750	0.375	36.000	0.459
8052	8.625	0.322	36.000	0.449	8.625	0.322	36.000	0.449



325	12.750	0.375	36.000	0.439	12.750	0.375	36.000	0.439
710	8.625	0.322	36.000	0.419	8.625	0.322	36.000	0.419

#### 7.4 Pile Check

\*\*\* PILE MAXIMUM AXIAL CAPACITY SUMMARY \*\*\*

PILE GRP \*\*\*\*\* PILE \*\*\*\*\* \*\*\*\*\* COMPRESSION \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* TENSION \*\*\*\*\*

JT PILEHEAD WEIGHT PEN. CAPACITY MAX. CRITICAL CONDITION  
 CAPACITY MAX. CRITICAL CONDITION \*MAXIMUM\*

O.D. THK. (INCL. WT) LOAD LOAD LOAD SAFETY (INCL. WT)  
 LOAD LOAD LOAD SAFETY UNITY LOAD

IN IN KIPS FT KIPS KIPS KIPS CASE FACTOR KIPS KIPS  
 KIPS CASE FACTOR CHECK CASE

102 PL1 30.00 1.00 57.0 230.0 -2111.4 -699.7 -699.7 1016 3.02 2216.5 0.0  
 0.0 1100 100.00 0.66 1016

104 PL1 30.00 1.00 57.0 230.0 -2111.4 -642.2 -642.2 1018 3.29 2216.5 0.0  
 0.0 1100 100.00 0.61 1018

106 PL1 30.00 1.00 57.0 230.0 -2098.5 -467.4 -467.4 1012 4.49 2162.9 18.0  
 18.0 1006 100.00 0.45 1012

108 PL1 30.00 1.00 57.0 230.0 -2098.5 -543.9 -543.9 1014 3.86 2162.9 0.0  
 0.0 1100 100.00 0.52 1014

\* \* P I L E G R O U P S U M M A R Y \* \*

GROUP ID = PL1

DISTANCE		***** DEFLECTIONS *****				***** INTERNAL LOADS *****							
***** STRESSES *****		PILE CRITICAL MAXIMUM											
FROM					BENDING			AXIAL BENDING	AXIAL	SHEAR			
COMB. HEAD	LOAD	UNIT											
		PILEHEAD	LATERAL	AXIAL	ROT.	MOMENT	SHEAR	LOAD	STRESS				
STRESS	STRESS	STRESS	ID	CASE	CHECK								
	FT	IN	IN	RAD	IN-KIP	KIPS	KIPS	KSI	KSI	KSI	KSI		
	0.0	0.252	0.371	0.00145	719.1	14.1	-699.7	1.12	-7.68	0.31	-8.80	102	
1016	0.397												
	2.3	0.213	0.363	0.00141	777.5	14.1	-700.0	1.22	-7.68	0.31	-8.90	102	
1016	0.401												
	4.6	0.175	0.356	0.00134	995.8	13.6	-700.7	1.56	-7.69	0.30	-9.25	102	
1016	0.414												
	6.9	0.140	0.349	0.00123	1273.4	11.4	-699.5	1.99	-7.68	0.25	-9.67	102	
1016	0.429												
	9.2	0.108	0.341	0.00110	1488.1	7.7	-696.0	2.33	-7.64	0.17	-9.97	102	
1016	0.440												
	11.5	0.080	0.334	0.00095	1605.0	4.1	-692.0	2.51	-7.60	0.09	-10.11	102	
1016	0.445												
	13.8	0.056	0.327	0.00079	1619.2	2.7	-687.5	2.53	-7.55	0.06	-10.08	102	
1016	0.443												
	16.1	0.036	0.320	0.00063	1545.3	4.3	-682.5	2.42	-7.49	0.09	-9.91	102	
1016	0.436												

[illegible]

[illegible]

[illegible]



## IN-PLACE STORM OUTPUT

### 8.1 Basic Load Case

\*\* SEASTATE BASIC LOAD CASE DESCRIPTIONS \*\*

LOAD    LOAD    \*\*\*\*\* DESCRIPTION \*\*\*\*\*

CASE   LABEL

1	3	NON-GENERATED DEAD LOAD (EXISTING)
2	4	EQUIPMENT LOAD (EXISTING)
3	5	DECK APPURTENANCES (EXISTING)
4	6	JACKET APPURTENANCES (EXISTING)
5	11	CRANE SELFWEIGHT (UN-OPERATIONAL)
6	12	CRANE BOOM REST (UN-OPERATIONAL)
7	13	CRANE VERTICAL LOAD
8	14	CRANE MOMENT LOAD (X-DIR)
9	15	CRANE MOMENT LOAD (Y-DIR)
10	701	LIVE LOAD 100PSF AT CELLAR DECK
11	702	LIVE LOAD 75 PSF AT JACKET WALKWAY
12	703	LIVE LOAD 75 PSF AT MEZZANINE DECK
13	801	EQUIPMENT LOAD (NEW)
14	802	PIPING LOAD ESTIMATION (NEW)
15	803	LIVE LOAD (NEW)
16	804	DECK APPURTENANCES - GRATING AND HANDRAILS (NEW)
17	805	LIVE LOAD AT ACCESS PLATFORM
18	806	APPURTENANCE AT ACCESS PLATFORM

19	901	NEW LIVE LOAD AT EXTENSION DOG HOUSE (200 PSF)
20	201	DEAD LOAD (MAXIMUM WATER DEPTH - FOR STORM CONDITION)
21	202	DEAD LOAD (MINIMUM WATER DEPTH - FOR STORM CONDITION)
22	WS01	ENVIRONMENTAL 0 DEG (MAX. WD)
23	WS02	ENVIRONMENTAL 45 DEG (MAX. WD)
24	WS03	ENVIRONMENTAL 90 DEG (MAX. WD)
25	WS04	ENVIRONMENTAL 135 DEG (MAX. WD)
26	WS05	ENVIRONMENTAL 180 DEG (MAX. WD)
27	WS06	ENVIRONMENTAL 225 DEG (MAX. WD)
28	WS07	ENVIRONMENTAL 270 DEG (MAX. WD)
29	WS08	ENVIRONMENTAL 315 DEG (MAX. WD)
30	WS11	ENVIRONMENTAL 0 DEG (MIN. WD)
31	WS12	ENVIRONMENTAL 45 DEG (MIN. WD)
32	WS13	ENVIRONMENTAL 90 DEG (MIN. WD)
33	WS14	ENVIRONMENTAL 135 DEG (MIN. WD)
34	WS15	ENVIRONMENTAL 180 DEG (MIN. WD)
35	WS16	ENVIRONMENTAL 225 DEG (MIN. WD)
36	WS17	ENVIRONMENTAL 270 DEG (MIN. WD)
37	WS18	ENVIRONMENTAL 315 DEG (MIN. WD)



\*\*\*\*\* SEASTATE BASIC LOAD CASE SUMMARY

\*\*\*\*\*

		RELATIVE TO MUDLINE ELEVATION					
LOAD	LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD LOAD	BUOYANCY						
CASE LABEL							
		(KIPS)	(KIPS)	(KIPS)	(FT-KIPS)	(FT-KIPS)	(FT-KIPS)
(KIPS)	(KIPS)						
1	3	0.000	0.000	-35.933	172.784	407.652	0.000
0.000	0.000						
2	4	0.000	0.000	-155.995	-1822.939	43.151	0.000
0.000	0.000						
3	5	0.000	0.000	-53.667	-459.826	-82.619	0.000
0.000	0.000						
4	6	0.000	0.000	-161.832	177.973	-79.114	0.000
0.000	0.000						
5	11	0.000	0.000	-40.000	800.000	-700.000	0.000
0.000	0.000						
6	12	0.000	0.000	-4.700	94.000	82.250	0.000
0.000							
7	13	0.000	0.000	-64.329	1286.580	-1125.758	0.000
0.000	0.000						
8	14	0.000	0.000	0.000	-1366.667	0.000	0.000
0.000							
9	15	0.000	0.000	0.000	0.000	-1366.667	0.000
0.000							

0.000	10 701	0.000	0.000	-67.905	-960.466	277.524	0.000
	0.000						
0.000	11 702	0.000	0.000	-56.312	-265.934	-483.388	0.000
	0.000						
0.000	12 703	0.000	0.000	-9.652	-227.239	-122.071	0.000
	0.000						
0.000	13 801	0.000	0.000	-32.886	-274.871	-769.469	0.000
	0.000						
0.000	14 802	0.000	0.000	-22.390	-18.010	-465.080	0.000
	0.000						
0.000	15 803	0.000	0.000	-26.280	14.409	-615.913	0.000
	0.000						
0.000	16 804	0.000	0.000	-8.677	-39.605	-200.357	0.000
	0.000						
0.000	17 805	0.000	0.000	-12.252	-107.664	-275.033	0.000
	0.000						
0.000	18 806	0.000	0.000	-0.890	-8.234	-20.047	0.000
	0.000						
0.000	19 901	0.000	0.000	-12.859	-71.147	-85.064	0.000
	0.000						
1807.218	20 201	0.000	0.000	-850.869	-85.969	133.316	0.000
	956.350						
1807.219	21 202	0.000	0.000	-905.463	143.156	294.460	0.000
	901.756						
0.000	22 WS01	562.249	-1.478	-19.596	279.846	77921.555	-194.715
	0.000						
0.000	23 WS02	440.850	433.610	4.318	-59198.836	60409.043	955.511
	0.000						

0.000	24 WS03	0.499	541.448	4.613	-74733.922	62.992	565.095
	0.000						
0.000	25 WS04	-443.018	436.020	-5.855	-59850.496	-60820.605	105.263
	0.000						
0.000	26 WS05	-562.445	-2.040	-17.657	161.091	-77749.789	256.394
	0.000						
940.669	27 WS06	-440.277	-436.770	-26.678	59819.867	-60386.625	-
	0.000	0.000					
0.000	28 WS07	-0.238	-543.125	-31.889	75351.031	108.497	-640.583
	0.000						
58.046	29 WS08	441.813	-438.266	-28.144	60170.875	60850.961	-
	0.000	0.000					
0.000	30 WS11	586.820	-1.714	-14.952	324.410	76787.984	-92.459
	0.000						
0.000	31 WS12	467.029	458.098	-2.967	-59640.508	61003.531	1249.019
	0.000						
0.000	32 WS13	0.211	567.983	5.173	-74355.875	-47.694	866.041
	0.000						
0.000	33 WS14	-471.781	464.658	2.948	-60668.398	-61646.137	187.932
	0.000						
0.000	34 WS15	-591.122	-1.672	-19.689	19.059	-77430.219	202.247
	0.000						
1233.193	35 WS16	-464.988	-459.235	-29.645	59591.023	-60610.289	-
	0.000	0.000					
0.000	36 WS17	-0.266	-562.525	-39.233	73918.820	126.615	-949.409
	0.000						
107.546	37 WS18	456.304	-452.735	-26.693	60801.078	61461.152	-
	0.000	0.000					

\*\*\*\*\* SEASTATE COMBINED LOAD CASE SUMMARY

\*\*\*\*\*

RELATIVE TO MUDLINE ELEVATION

LOAD	LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
CASE	LABEL	(KIPS)	(KIPS)	(KIPS)	(FT-KIPS)	(FT-KIPS)	(FT-KIPS)
38	CRN	0.000	0.000	-44.700	894.000	-617.750	0.000
39	TOP2	0.000	0.000	-522.548	-2961.660	-2976.325	0.000
40	2100	0.000	0.000	-1585.884	-2865.055	-2919.413	0.000
41	2200	0.000	0.000	-1643.207	-2624.475	-2750.213	0.000
42	2001	562.249	-1.478	-1605.480	-2585.209	75002.141	-194.715
43	2002	440.850	433.610	-1581.566	-62063.891	57489.629	955.511
44	2003	0.499	541.448	-1581.271	-77598.977	-2856.421	565.095
45	2004	-443.018	436.020	-1591.739	-62715.551	-63740.020	105.263
46	2005	-562.445	-2.040	-1603.541	-2703.964	-80669.203	256.394
47	2006	-440.277	-436.770	-1612.562	56954.812	-63306.039	-
		940.669					
48	2007	-0.238	-543.125	-1617.773	72485.977	-2810.916	-640.583
49	2008	441.813	-438.266	-1614.028	57305.820	57931.547	-
		58.046					
50	2011	586.820	-1.714	-1658.159	-2300.064	74037.773	-92.459
51	2012	467.029	458.098	-1646.174	-62264.984	58253.320	1249.019
52	2013	0.211	567.983	-1638.035	-76980.352	-2797.907	866.041
53	2014	-471.781	464.658	-1640.260	-63292.875	-64396.352	187.932



209- 213 B66 0.520 2014 0.0 -5.31 7.71 4.88 -2.08 -1.30 83.4 41.6  
0.500 2015 0.492 2004

213- 205 B66 0.621 2011 10.1 5.38 -14.88 4.81 1.78 -6.20 83.4 41.6  
0.604 2015 0.604 2018

201- 203 B77 0.529 2015 0.0 -6.61 -5.99 -2.38 0.39 2.01 83.4 83.4  
0.499 2016 0.492 2005

8038-V010 BR1 0.518 2100 0.0 1.84 5.49 -10.31 0.49 -0.11 70.9 70.9  
0.518 2200 0.419 2007

0037-0038 AD2 0.741 1014 0.0 0.11 -13.28 2.42 -0.35 1.66 17.2 17.2  
0.738 1004 0.500 1015

8038-0043 C5N 0.754 2100 0.0 0.04 -15.81 0.44 0.08 3.26 17.5 44.3  
0.754 2200 0.576 2005

8046-0046 C5N 0.769 2100 0.0 0.00 15.80 0.80 0.05 -3.26 17.5 44.3  
0.768 2200 0.594 2001

301- 309 C75 0.686 2015 0.0 -4.59 -16.90 -3.87 2.21 7.96 72.1 25.7  
0.663 2016 0.645 2014

314- 303 C75 0.549 2012 12.9 -0.50 -17.71 -5.47 -2.44 -8.52 72.1 25.7  
0.528 2011 0.518 2200

301- 328 C99 0.534 2016 0.0 -3.43 -13.51 1.99 -0.65 4.46 36.4 45.7  
0.509 2006 0.491 2017

1109-2069 CH2 0.738 2200 0.0 0.18 -15.67 0.09 0.10 3.85 14.5 36.7  
0.738 2100 0.643 2001

1110-2028 CH2 0.763 2200 0.0 0.17 -14.97 1.35 0.04 3.04 14.5 36.7  
0.763 2100 0.590 2001

2024-2023 CH2 0.531 2100 0.0 0.04 -5.75 5.69 0.44 0.26 16.1 40.6  
0.531 2200 0.426 2003

8037-8038 CH5 0.536 2007 3.0 0.03 -11.35 -4.07 0.15 -1.50 15.1 38.3  
0.533 2200 0.532 2100

8045-8046 CH5 0.579 2007 3.0 -0.19 11.81 4.65 -0.17 1.35 15.1 38.3  
0.559 2200 0.558 2100

8061-8072 CH6 0.554 2200 0.0 -0.67 -5.33 -5.93 -0.63 0.83 9.2 23.3  
0.554 2100 0.525 2007

8074-8061 CH6 0.627 2006 2.2 -1.49 -5.76 10.68 -0.95 -1.65 11.0 27.7  
0.605 2200 0.605 2100

417- 405 D62 0.558 2011 5.0 -4.78 -8.40 9.53 4.67 -4.80 77.2 38.6  
0.547 2001 0.446 2018

503- 518 E07	0.527	2008	0.0	-3.18	-14.47	-1.41	1.09	6.25	10.1	10.1
0.517	2018	0.485	2007							

GROUP I - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.50 AND  
LESS THAN 0.80

MEMBER	GROUP	COMBINED	COND	FROM	STRESS	Y	Z	FY	FZ
KLY/RY	KLZ/RZ	UNITY	LOAD	UNITY	LOAD				

555- 505 E85	0.543	2002	3.7	-4.86	-13.05	-1.22	-1.80	-4.20	8.1	8.1
0.515	2012	0.499	2001							

0039- 709 F01	0.585	2100	2.0	-0.55	14.97	2.11	1.37	6.01	8.3	8.3
0.584	2200	0.556	2003							

303- 403 L40	0.613	2018	42.6	15.87	2.01	-0.41	1.96	4.71	45.5	45.5
0.594 2008	0.537	2014								



305- 405 L42 0.558 2016 40.5 -11.02 -3.71 -0.49 -1.62 -10.51 45.8 45.8  
0.519 2006 0.442 2012

205- 305 L48 0.533 2016 26.5 -11.57 1.55 0.52 -1.09 -0.12 51.0 51.0  
0.499 2006 0.468 2012

301- 401 LG3 0.622 2016 40.1 16.22 -0.88 -1.73 -6.03 0.16 45.5 45.5  
0.610 2012 0.589 2006

307- 407 LG9 0.779 2018 5.0 -17.13 2.32 -1.08 0.69 0.32 45.8 45.8  
0.754 2008 0.548 2014

507- 706 LGA 0.501 2018 6.1 -11.60 1.51 -0.06 8.37 8.75 43.7 43.7  
0.487 2008 0.402 2014

706- 439 LGA 0.553 2018 15.6 -11.73 2.22 0.38 0.38 -0.78 43.7 43.7  
0.536 2008 0.418 2014

900- 501 LGB 0.511 2016 0.0 12.66 -0.19 2.56 -12.66 -9.78 43.4 43.4  
0.495 2006 0.388 2017

442- 901 LGC 0.529 2018 6.2 12.72 -2.71 -1.60 -1.75 1.69 43.4 43.4  
0.515 2008 0.434 2011

901- 503 LGC 0.545 2018 0.0 13.46 -0.55 -2.73 15.13 -16.82 43.4 43.4  
0.522 2008 0.406 2017

0037-0038 MP2 0.716 2003 3.0 0.20 -13.74 9.82 0.76 -4.51 14.4 39.2  
0.701 2100 0.697 2200

8002-8024 MZ1 0.555 2007 0.0 -0.52 5.73 -9.70 -0.42 -0.79 7.7 19.3  
0.425 2003 0.401 2008

8018-8008 MZ1 0.637 2007 3.0 0.09 14.53 -3.82 0.11 1.43 23.0 57.8  
0.469 2008 0.405 2006

8028-8029 MZ1 0.516 2007 0.0 -0.62 2.47 -11.71 -0.59 -0.34 11.5 28.9  
0.498 2003 0.364 2008

8029-8035 MZ1 0.601 2007 3.0 0.45 -4.68 12.18 -0.35 -0.23 23.0 57.9  
0.504 2006 0.390 2008

8030-8033 MZ1 0.531 2007 0.0 -0.41 2.20 -12.59 -0.42 0.00 23.0 57.8  
0.417 2003 0.377 2008

8030-8036 MZ1 0.758 2007 3.0 0.24 5.63 -16.18 0.44 0.50 23.0 57.9  
0.574 2003 0.570 2008

8033-8037 MZ1 0.578 2007 0.0 0.03 -3.74 12.88 0.43 0.18 23.0 57.9  
0.442 2006 0.404 2008

8034-8038 MZ1 0.745 2007 3.0 0.00 11.73 -9.72 0.27 1.32 23.0 57.9  
0.595 2006 0.552 2008

8035-8000 MZ1	0.535	2003	0.0	-0.67	4.60	-10.03	-0.45	-0.40	17.2	43.2
0.470	2004	0.369	2007							

Joint Can Summary

\* \* J O I N T   C A N   S U M M A R Y \* \*

(UNITY CHECK ORDER)

\*\*\*\*\* ORIGINAL \*\*\*\*\*

DESIGN \*\*\*\*\*

JOINT	DIAMETER	THICKNESS	YLD STRS	UC	DIAMETER	THICKNESS	YLD STRS	UC
	(IN)	(IN)	(KSI)	(IN)	(IN)	(KSI)	(IN)	(KSI)
154	18.000	0.492	36.000	0.687	18.000	0.492	36.000	0.687
530	12.500	0.250	36.000	0.679	12.500	0.250	36.000	0.679
151	20.000	0.500	36.000	0.675	20.000	0.500	36.000	0.675
8060	4.500	0.237	36.000	0.661	4.500	0.237	36.000	0.661
8061	4.500	0.237	36.000	0.659	4.500	0.237	36.000	0.659
141	20.000	0.500	36.000	0.643	20.000	0.500	36.000	0.643
150	20.000	0.500	36.000	0.642	20.000	0.500	36.000	0.642
525	12.500	0.250	36.000	0.641	12.500	0.250	36.000	0.641
529	12.500	0.250	36.000	0.637	12.500	0.250	36.000	0.637
136	20.000	0.500	36.000	0.623	20.000	0.500	36.000	0.623
544	13.750	0.305	36.000	0.621	13.750	0.305	36.000	0.621
540	13.750	0.305	36.000	0.614	13.750	0.305	36.000	0.614
144	20.000	0.500	36.000	0.604	20.000	0.500	36.000	0.604
702	30.000	0.750	36.000	0.600	30.000	0.750	36.000	0.600
301	34.000	1.000	36.000	0.596	34.000	1.000	36.000	0.596

514	15.750	0.250	36.000	0.589	15.750	0.250	36.000	0.589
8064	4.500	0.237	36.000	0.589	4.500	0.237	36.000	0.589
531	12.500	0.250	36.000	0.582	12.500	0.250	36.000	0.582
403	34.000	1.000	36.000	0.576	34.000	1.000	36.000	0.576
401	34.000	1.000	36.000	0.573	34.000	1.000	36.000	0.573
423	13.750	0.250	36.000	0.566	13.750	0.250	36.000	0.566
317	12.750	0.375	36.000	0.564	12.750	0.375	36.000	0.564
148	20.000	0.500	36.000	0.557	20.000	0.500	36.000	0.557
509	15.750	0.250	36.000	0.552	15.750	0.250	36.000	0.552
713	8.625	0.322	36.000	0.535	8.625	0.322	36.000	0.535
318	12.750	0.375	36.000	0.534	12.750	0.375	36.000	0.534
316	12.750	0.375	36.000	0.525	12.750	0.375	36.000	0.525
528	12.500	0.250	36.000	0.524	12.500	0.250	36.000	0.524
303	34.000	1.000	36.000	0.523	34.000	1.000	36.000	0.523
513	15.750	0.250	36.000	0.518	15.750	0.250	36.000	0.518
535	15.750	0.710	36.000	0.517	15.750	0.710	36.000	0.517
545	15.750	0.710	36.000	0.515	15.750	0.710	36.000	0.515
205	34.000	1.000	36.000	0.503	34.000	1.000	36.000	0.503
709	30.000	0.750	36.000	0.495	30.000	0.750	36.000	0.495
522	12.500	0.250	36.000	0.495	12.500	0.250	36.000	0.495

\* \* J O I N T   C A N   S U M M A R Y \* \*

(UNITY CHECK ORDER)

\*\*\*\*\* ORIGINAL \*\*\*\*\*

DESIGN \*\*\*\*\*

JOINT	DIAMETER	THICKNESS	YLD STRS	UC	DIAMETER	THICKNESS	YLD STRS	UC
	(IN)	(IN)	(KSI)			(IN)	(IN)	(KSI)
319	12.750	0.375	36.000	0.494	12.750	0.375	36.000	0.494
201	34.000	1.000	36.000	0.491	34.000	1.000	36.000	0.491
510	15.750	0.250	36.000	0.481	15.750	0.250	36.000	0.481
407	34.000	0.976	36.000	0.479	34.000	0.976	36.000	0.479
323	12.750	0.375	36.000	0.477	12.750	0.375	36.000	0.477
324	12.750	0.375	36.000	0.476	12.750	0.375	36.000	0.476
523	12.500	0.250	36.000	0.472	12.500	0.250	36.000	0.472
3065	6.375	0.155	36.000	0.466	6.375	0.155	36.000	0.466
147	20.000	0.500	36.000	0.462	20.000	0.500	36.000	0.462
207	34.000	1.000	36.000	0.459	34.000	1.000	36.000	0.459
521	12.500	0.250	36.000	0.456	12.500	0.250	36.000	0.456
536	13.750	0.305	36.000	0.455	13.750	0.305	36.000	0.455
3041	8.375	0.197	36.000	0.454	8.375	0.197	36.000	0.454
203	34.000	1.000	36.000	0.449	34.000	1.000	36.000	0.449
517	12.500	0.250	36.000	0.446	12.500	0.250	36.000	0.446
520	12.500	0.250	36.000	0.442	12.500	0.250	36.000	0.442

309	14.000	0.372	36.000	0.437	14.000	0.372	36.000	0.437
3040	8.375	0.197	36.000	0.433	8.375	0.197	36.000	0.433
322	12.750	0.375	36.000	0.424	12.750	0.375	36.000	0.424
8052	8.625	0.322	36.000	0.423	8.625	0.322	36.000	0.423
325	12.750	0.375	36.000	0.411	12.750	0.375	36.000	0.411
575	15.750	0.710	36.000	0.395	15.750	0.710	36.000	0.395
549	12.500	0.246	36.000	0.395	12.500	0.246	36.000	0.395
516	12.500	0.250	36.000	0.387	12.500	0.250	36.000	0.387
327	14.000	0.368	36.000	0.386	14.000	0.368	36.000	0.386
334	14.000	0.354	36.000	0.384	14.000	0.354	36.000	0.384
3078	6.625	0.280	36.000	0.381	6.625	0.280	36.000	0.381
132	18.000	0.500	36.000	0.376	18.000	0.500	36.000	0.376
127	18.000	0.500	36.000	0.372	18.000	0.500	36.000	0.372
3047	6.625	0.280	36.000	0.348	6.625	0.280	36.000	0.348
0000	30.000	0.750	36.000	0.346	30.000	0.750	36.000	0.346
533	12.500	0.229	36.000	0.341	12.500	0.229	36.000	0.341
3036	8.375	0.197	36.000	0.338	8.375	0.197	36.000	0.338
314	14.000	0.372	36.000	0.335	14.000	0.372	36.000	0.335
555	12.500	0.246	36.000	0.335	12.500	0.246	36.000	0.335
710	8.625	0.322	36.000	0.333	8.625	0.322	36.000	0.333
541	13.750	0.305	36.000	0.325	13.750	0.305	36.000	0.325
556	15.750	0.710	36.000	0.325	15.750	0.710	36.000	0.325
3046	6.375	0.155	36.000	0.322	6.375	0.155	36.000	0.322
3035	8.375	0.197	36.000	0.315	8.375	0.197	36.000	0.315

409	14.000	0.374	36.000	0.312	14.000	0.374	36.000	0.312
131	12.750	0.375	36.000	0.307	12.750	0.375	36.000	0.307
539	13.750	0.305	36.000	0.301	13.750	0.305	36.000	0.301
3059	6.375	0.155	36.000	0.298	6.375	0.155	36.000	0.298
209	14.000	0.370	36.000	0.292	14.000	0.370	36.000	0.292
546	12.500	0.250	36.000	0.287	12.500	0.250	36.000	0.287
128	12.750	0.375	36.000	0.286	12.750	0.375	36.000	0.286
335	14.000	0.370	36.000	0.286	14.000	0.370	36.000	0.286
305	34.000	1.000	36.000	0.283	34.000	1.000	36.000	0.283
3037	8.375	0.197	36.000	0.272	8.375	0.197	36.000	0.272



**LAMPIRAN D**  
**FATIGUE ANALYSIS INPUT**

JOINT	MEMBER	GRUP	ID	TYPE	ORIGINAL		JNT	MEM	CHORD LEN. (FT)	GAP (IN)	* STRESS CONC. FACTORS *				FATIGUE RESULTS				REQUIRED	
					OD (IN)	WT (IN)					TYP	TYP	AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	DAMAGE	LOC	SVC	LIFE
001	001-	101	L01	TUB	34.00	1.000					5.00	5.00	5.00	5.00	.00000000	TR	INFINITE			
003	003-	103	L03	TUB	34.00	1.000					5.00	5.00	5.00	5.00	.00000000	TR	INFINITE			
005	005-	105	L05	TUB	34.00	1.000					5.00	5.00	5.00	5.00	.00000000	TR	INFINITE			
007	007-	107	L07	TUB	34.00	1.000					5.00	5.00	5.00	5.00	.00000000	TR	INFINITE			
101	101-	135	A01	TUB	18.00	0.500	T	BRC	58.11		3.38	9.11	2.80	6.55	.24272-2	L	24308.21			
101	001-	101	L01	TUB	34.00	1.000	T	CHD	58.11		5.41	8.80	2.61	6.95	.21515-2	L	27422.20			
101	101-	133	A02	TUB	20.00	0.500	T	BRC	58.11		3.44	8.95	2.76	6.77	.12973-5	R	45481.+3			
101	101-	201	LG1	TUB	34.00	1.000	T	CHD	58.11		5.69	8.69	2.59	7.42	.12207-5	R	48334.+3			
101	101-	109	A80	TUB	18.00	0.476	T	BRC	58.11		3.32	8.87	2.77	6.38	.22743-3	L	259425.2			
101	101-	201	LG1	TUB	34.00	1.000	T	CHD	58.11		5.14	8.33	2.50	6.59	.17661-3	TL	334060.5			
103	103-	142	A01	TUB	18.00	0.500	T	BRC	58.11		3.38	9.11	2.80	6.55	.0124399	L	4742.791			

\* \* \* M E M B E R F A T I G U E R E P O R T \* \* \*  
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP ID	TYPE ID	ORIGINAL		JNT TYP	MEM TYP	CHORD LEN. (FT)	GAP (IN)	* STRESS AX-CR	CONC. AX-SD	FACTORS * IN-PL		FATIGUE RESULTS		REQUIRED			
				OD (IN)	WT (IN)							OU-PL	DAMAGE	LOC	SVC	LIFE	OD (IN)	WT (IN)	
103	003-	103	L03	TUB	34.00	1.000	T	CHD	58.11		5.41	8.80	2.61	6.95	.0101855	L	5792.521		
103	103-	134	A02	TUB	20.00	0.500	T	BRC	58.11		3.44	8.95	2.76	6.77	.12383-2	L	47645.62		
103	103-	203	L52	TUB	34.00	1.000	T	CHD	58.11		5.69	8.69	2.59	7.42	.12348-2	L	47779.57		
103	114-	103	A80	TUB	18.00	0.476	T	BRC	58.11		3.32	8.87	2.77	6.38	.62035-5	L	9510777.		
103	103-	203	L52	TUB	34.00	1.000	T	CHD	58.11		5.14	8.33	2.50	6.59	.57668-5	L	10231.+3		
-----																			
104	104-	204	PL1	TUB	30.00	1.000					5.00	5.00	5.00	5.00	.9756244	L	60.47409		
-----																			
105	149-	105	A01	TUB	18.00	0.500	Y	BRC	58.53		3.39	8.98	2.80	6.47	.47456-3	R	124324.8		
105	105-	205	L55	TUB	34.00	1.000	Y	CHD	58.53		5.41	8.77	2.60	6.86	.43750-3	R	134858.4		
105	105-	151	A02	TUB	20.00	0.500	Y	BRC	58.53		3.46	8.81	2.76	6.68	.17324-2	L	34056.95		
105	105-	205	L55	TUB	34.00	1.000	Y	CHD	58.53		5.69	8.67	2.57	7.32	.19760-2	TL	29857.59		
105	153-	105	A69	TUB	18.00	0.492	T	BRC	58.53		3.37	9.01	2.79	6.48	.0200679	R	2940.025		
105	105-	205	L55	TUB	34.00	1.000	T	CHD	58.53		5.34	8.64	2.57	6.81	.0175250	R	3366.610		

\* \* \* M E M B E R F A T I G U E R E P O R T \* \* \*  
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP	TYPE	ID	ORIGINAL		JNT	MEM	CHORD	LEN.	(FT)	GAP	*	STRESS	CONC.	FACTORS	*	FATIGUE RESULTS				REQUIRED	
					OD	WT												(IN)	(IN)	TYP	TYP	DAMAGE	LOC
					(IN)	(IN)						(IN)	AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL					(IN)	(IN)	
107	146-	107	A01	TUB	18.00	0.500	Y	BRC	58.53				3.39	8.98	2.80	6.47		.28705-2	R	20553.92			
107	107-	207	LG7	TUB	34.00	1.000	Y	CHD	58.53				5.41	8.77	2.60	6.86		.28399-2	R	20775.53			
107	107-	150	A02	TUB	20.00	0.500	Y	BRC	58.53				3.46	8.81	2.76	6.68		.11040-4	R	5344398.			
107	107-	207	LG7	TUB	34.00	1.000	Y	CHD	58.53				5.69	8.67	2.57	7.32		.12604-4	R	4681180.			
107	107-	152	A69	TUB	18.00	0.492	T	BRC	58.53				3.37	9.01	2.79	6.48		.0212687	L	2774.026			
107	107-	207	LG7	TUB	34.00	1.000	T	CHD	58.53				5.34	8.64	2.57	6.81		.0191224	L	3085.386			
-----																							
108	108-	208	PL1	TUB	30.00	1.000							5.00	5.00	5.00	5.00		.6476215	L	91.10259			
-----																							
109	109-	115	A03	TUB	18.00	0.500	K	BRC	20.10	5.00	4.40	4.44	2.70	7.39		.26284-4	BL	2244723.					
109	101-	109	A80	TUB	18.00	0.476	K	CHD	20.10		9.00	8.47	3.87	14.64		.23227-2	BL	25401.35					
109	109-	133	A04	TUB	16.00	0.500	K	BRC	20.10	5.00	3.82	3.99	2.96	6.27		.33941-3	L	173828.8					
109	101-	109	A80	TUB	18.00	0.476	K	CHD	20.10		8.29	8.71	3.44	11.99		.0228577	L	2581.192					
-----																							
110	110-	116	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	6.00		1.85	8.99	3.07	8.34		.17309-5	BL	34087.+3					
110	109-	110	A80	TUB	18.00	0.476	T	CHD	6.00		3.67	13.72	3.85	12.54		.46074-4	BL	1280551.					

\* \* \* M E M B E R F A T I G U E R E P O R T \* \* \*  
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP ID	TYPE ID	ORIGINAL		JNT TYP	MEM TYP	CHORD LEN. (FT)	GAP (IN)	* STRESS CONC. FACTORS *				FATIGUE RESULTS			REQUIRED	
				OD (IN)	WT (IN)					AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	DAMAGE	LOC	SVC LIFE	OD (IN)	WT (IN)
111	111-	117	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	4.20	1.66	7.20	3.07	7.32	.42923-4	TR	1374552.		
111	111-	155	A80	TUB	18.00	0.476	T	CHD	4.20	3.20	11.32	3.85	11.01	.48949-3	TR	120533.1		
-----																		
112	112-	118	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	4.20	1.66	7.20	3.07	7.32	.83454-5	BR	7069802.		
112	155-	112	A80	TUB	18.00	0.476	T	CHD	4.20	3.20	11.32	3.85	11.01	.17979-3	BR	328156.2		
-----																		
113	113-	119	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	5.64	1.81	8.73	3.07	8.17	.64482-6	TL	91499.+3		
113	112-	113	A80	TUB	18.00	0.476	T	CHD	5.64	3.58	13.39	3.85	12.29	.26595-4	L	2218483.		
-----																		
114	114-	120	A03	TUB	18.00	0.500	K	BRC	19.74	5.00	4.38	4.43	2.70	7.41	.25920-5	L	22762.+3	
114	114-	103	A80	TUB	18.00	0.476	K	CHD	19.74	8.89	8.47	3.87	14.68	.11259-2	L	52401.75		
114	114-	134	A04	TUB	16.00	0.500	K	BRC	19.74	5.00	3.72	3.87	2.96	6.44	.93870-4	TR	628531.8	
114	114-	103	A80	TUB	18.00	0.476	K	CHD	19.74	7.97	8.33	3.44	12.30	.31934-2	T	18475.56		
-----																		
115	115-	116	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	9.00	2.21	9.29	2.98	8.53	.48924-4	L	1205952.		
115	109-	115	A03	TUB	18.00	0.500	T	CHD	9.00	4.20	13.15	3.60	12.46	.12391-2	L	47616.26		

\* \* \* M E M B E R F A T I G U E R E P O R T \* \* \*  
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP ID	TYPE ID	ORIGINAL		JNT TYP	MEM TYP	CHORD LEN. (FT)	GAP (IN)	* STRESS CONC. FACTORS *				FATIGUE RESULTS			REQUIRED	
				OD (IN)	WT (IN)					AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	DAMAGE	LOC	SVC LIFE	OD (IN)	WT (IN)
116	115-	116	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.72	2.77	4.29	2.61	5.24	.0000000	T	INFINITE		
116	116-	122	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.72	7.15	7.05	3.59	10.07	.75661-6	TL	77980.+3		
116	116-	117	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.72	2.85	4.33	2.61	5.60	.0207364	T	2845.244		
116	110-	116	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.72	7.63	7.10	3.59	10.76	.2943803	T	200.4210		
-----																		
117	116-	117	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.72	2.80	4.30	2.61	5.37	.0219637	T	2686.251		
117	117-	123	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.72	7.32	7.07	3.59	10.31	.2898833	T	203.5302		
117	117-	118	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.72	2.11	3.94	2.61	2.23	.0000000	T	INFINITE		
117	117-	123	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.72	3.12	6.63	3.59	4.28	.33585-7	TR	17567.+5		
-----																		
118	117-	118	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.72	2.42	4.10	2.61	3.64	.32613-7	TR	18091.+5		
118	112-	118	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.72	5.00	6.83	3.59	6.98	.15074-4	TR	3913986.		
118	118-	119	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.72	2.79	4.30	2.61	5.35	.31094-3	B	189747.5		
118	112-	118	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.72	7.29	7.07	3.59	10.27	.0111838	B	5275.508		
-----																		
119	118-	119	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.72	2.85	4.33	2.61	5.59	.36682-3	BR	160843.1		

\* \* \* M E M B E R F A T I G U E R E P O R T \* \* \*  
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP	TYPE	ID	ORIGINAL		JNT	MEM	CHORD	GAP	* STRESS CONC. FACTORS *				FATIGUE RESULTS				REQUIRED	
					OD (IN)	WT (IN)					TYP	TYP	LEN. (FT)	(IN)	AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	DAMAGE	LOC
119	119-	125	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.72		7.62	7.10	3.59	10.74	.0144965	BR	4069.945			
119	119-	120	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.72		2.69	4.25	2.61	4.89	.30712-7	L	19211.+5			
119	113-	119	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.72		6.68	7.00	3.59	9.39	.47206-4	L	1249850.			
-----																				
120	119-	120	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	9.00		2.21	9.29	2.98	8.69	.42895-4	L	1375459.			
120	120-	126	A03	TUB	18.00	0.500	T	CHD	9.00		4.20	13.16	3.60	12.69	.70715-3	L	83433.16			
-----																				
121	121-	122	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	9.60		2.27	9.35	2.98	8.69	.36624-2	R	16109.81			
121	121-	127	A03	TUB	18.00	0.500	T	CHD	9.60		4.35	13.16	3.60	12.69	.0273377	R	2158.195			
-----																				
122	121-	122	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.90		2.75	4.26	2.61	4.97	.75264-6	BR	78391.+3			
122	116-	122	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.90		6.88	7.01	3.59	9.55	.39168-3	R	150632.0			
122	122-	123	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.90		2.73	4.25	2.61	4.90	.16918-3	BL	348744.2			
122	122-	128	A05	TUB	12.75	0.375	T	CHD	7.90		6.78	7.00	3.59	9.41	.39876-2	BL	14795.72			
-----																				
123	122-	123	A05	TUB	12.75	0.375	T	BRC	7.90		2.62	4.20	2.61	4.44	.79288-4	B	744122.1			

\* \* \* M E M B E R F A T I G U E R E P O R T \* \* \*  
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP	TYPE	ID	ORIGINAL		JNT	MEM	CHORD	GAP	* STRESS CONC. FACTORS *				FATIGUE RESULTS				REQUIRED	
					OD (IN)	WT (IN)					TYP	TYP	LEN. (FT)	(IN)	AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	DAMAGE	LOC
205	105-	205	L55	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	106.00		2.17	2.16	1.50	1.93	.0252010	R	2341.179			
205	145-	205	P54	TUB	16.00	0.368	TK	BRC	106.00	12.25	2.10	2.08	2.76	2.22	.0202933	BL	2907.366			
205	105-	205	L55	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	106.00		2.18	2.17	1.50	1.93	.0230006	L	2565.148			
205	205-	307	Q03	TUB	18.00	0.375	TK	BRC	106.00	12.25	2.62	2.66	2.70	3.58	.4268598	TR	138.2187			
205	205-	305	L48	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	106.00		2.92	2.95	1.55	3.25	.5866150	TR	100.5770			
205	205-	303	Q47	TUB	18.00	0.370	TK	BRC	106.00	12.25	2.58	2.61	2.69	3.48	.2314141	L	254.9542			
205	205-	305	L48	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	106.00		2.84	2.87	1.52	3.14	.3433794	L	171.8216			
-----																				
206	106-	206	PL1	TUB	30.00	0.750					1.50	1.50	1.50	1.50	.0490906	TR	1201.858			
206	206-	306	PL2	TUB	30.00	0.750					1.50	1.50	1.50	1.50	.0490904	TR	1201.865			
-----																				
207	201-	207	B21	TUB	14.00	0.366	K	BRC	106.00	7.24	4.30	5.14	2.60	4.94	.0103689	T	5690.072			
207	207-	307	LG8	TUB	34.00	1.000	K	CHD	106.00		4.43	4.56	1.94	4.14	.74896-2	T	7877.584			
207	207-	209	B66	TUB	14.00	0.370	K	BRC	106.00	7.25	4.44	5.02	2.61	4.99	.2922479	TL	201.8834			
207	207-	307	LG8	TUB	34.00	1.000	K	CHD	106.00		4.47	4.56	1.97	4.21	.2059567	TL	286.4680			
207	147-	207	KNE	TUB	16.00	0.375	Y	BRC	106.00		3.91	3.30	2.78	1.91	.28113-6	BL	20987.+4			

\* \* \* M E M B E R F A T I G U E R E P O R T \* \* \*  
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP	TYPE	ID	ORIGINAL		JNT	MEM	CHORD	LEN.	GAP	*	STRESS	CONC.	FACTORS	*	FATIGUE RESULTS				REQUIRED	
					OD	WT											(IN)	(IN)	TYP	TYP	(FT)	(IN)
			ID	ID	(IN)	(IN)														(IN)	(IN)	
214	203-	214	B50	TUB	14.00	0.375							1.50	1.50	1.50	1.50	.54085-4	L	1090882.			
214	214-	205	B50	TUB	14.00	0.375							1.50	1.50	1.50	1.50	.53066-4	L	1111822.			
-----																						
301	301-	327	C15	TUB	14.00	0.368	T	BRC	95.20				3.64	8.15	2.60	4.98	.0566473	L	1041.533			
301	201-	301	LG2	TUB	34.00	1.000	T	CHD	95.20				5.01	6.08	1.96	4.19	.0176820	L	3336.723			
301	301-	309	C75	TUB	14.00	0.372	TK	BRC	95.20	10.00			4.14	4.15	2.61	5.51	.4222183	TR	139.7381			
301	301-	401	LG3	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	95.20				3.85	3.85	1.98	4.66	.2549987	TR	231.3737			
301	301-	328	C99	TUB	12.75	0.368	T	BRC	95.20				3.63	7.99	2.58	4.68	.1790398	L	329.5356			
301	301-	401	LG3	TUB	34.00	1.000	T	CHD	95.20				4.79	5.92	1.92	3.85	.0547899	T	1076.841			
301	203-	301	Q04	TUB	18.00	0.375	TK	BRC	95.20	10.00			2.92	3.06	2.67	4.09	4.062244	TL	14.52399			
301	201-	301	LG2	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	95.20				3.22	3.29	1.70	3.71	5.211165	TL	11.32185			
301	301-	403	R04	TUB	16.00	0.375	TK	BRC	95.20	10.00			2.58	2.61	2.72	3.08	1.715006	TR	34.40222			
301	301-	401	LG3	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	95.20				2.73	2.75	1.52	2.71	1.877114	R	31.43122			
-----																						
302	202-	302	PL2	TUB	30.00	0.750							1.50	1.50	1.50	1.50	.0711019	BR	829.7951			
302	302-	402	PL3	TUB	30.00	0.750							1.50	1.50	1.50	1.50	.0711020	BR	829.7935			



\* \* \* M E M B E R F A T I G U E R E P O R T \* \* \*  
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP	TYPE	ID	ORIGINAL		JNT	MEM	CHORD	GAP	*	STRESS CONC. FACTORS *				FATIGUE RESULTS			REQUIRED	
					OD (IN)	WT (IN)						TYP	TYP	LEN. (FT)	(IN)	AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	DAMAGE
303	303-	333	C10	TUB	12.75	0.362	T	BRC	95.20			3.61	7.94	2.57	4.64	.0404928	T	1457.049		
303	303-	403	L40	TUB	34.00	1.000	T	CHD	95.20			4.71	5.82	1.89	3.79	.0146864	T	4017.334		
303	303-	334	C44	TUB	14.00	0.354	TK	BRC	95.20	10.00	4.01	4.16	2.58	5.37	.0491667	TR	1199.999			
303	303-	403	L40	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	95.20		3.71	3.75	1.90	4.42	.0224859	TR	2623.867			
303	314-	303	C75	TUB	14.00	0.372	T	BRC	95.20		3.66	8.16	2.61	4.99	.1207287	BR	488.6989			
303	303-	403	L40	TUB	34.00	1.000	T	CHD	95.20		5.06	6.15	1.98	4.22	.0433515	BR	1360.966			
303	205-	303	Q47	TUB	18.00	0.370	TK	BRC	95.20	10.00	2.85	3.02	2.66	3.86	.4377113	TL	89.342			
303	203-	303	L46	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	95.20		3.12	3.22	1.66	3.48	.4608141	TL	128.0343			
303	303-	405	R01	TUB	16.00	0.375	TK	BRC	95.20	10.00	2.76	2.84	2.70	3.46	.7856283	TL	750.09913			
303	303-	403	L40	TUB	34.00	1.000	TK	CHD	95.20		2.89	2.93	1.61	3.04	.6172215	L	95.58967			
-----																				
304	204-	304	PL2	TUB	30.00	0.750					1.50	1.50	1.50	1.50	.15043-2	BR	39221.08			
304	304-	404	PL3	TUB	30.00	0.750					1.50	1.50	1.50	1.50	.15043-2	BR	39220.91			
-----																				
305	333-	305	C02	TUB	14.00	0.375	Y	BRC	95.90		3.68	8.09	2.62	4.95	.0179400	BL	3288.749			
305	305-	405	L42	TUB	34.00	1.000	Y	CHD	95.90		5.10	6.20	1.98	4.20	.78842-2	B	7483.306			

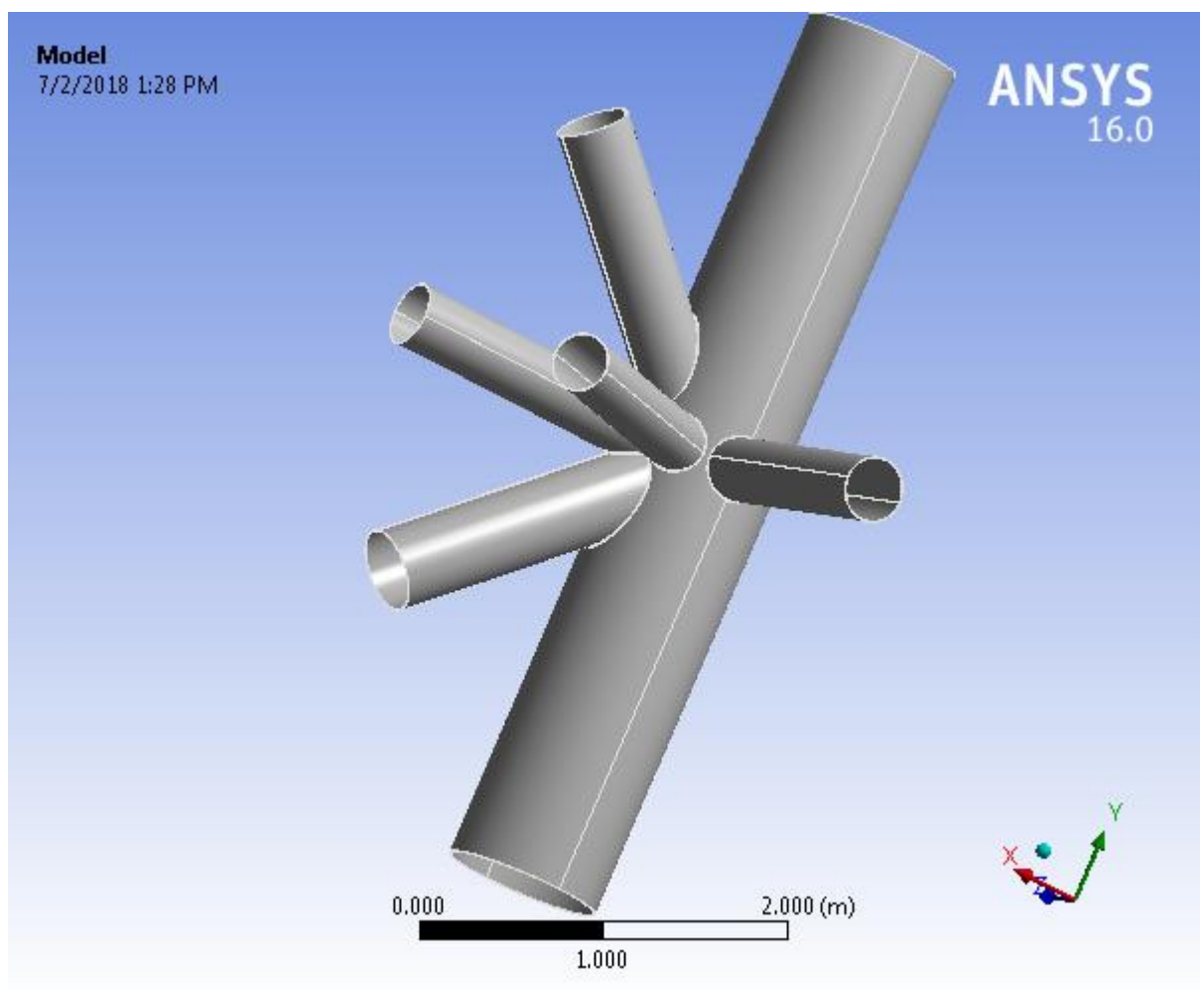


**LAMPIRAN E**  
**ANSYS REPORT**



## Project

First Saved	Saturday, May 26, 2018
Last Saved	Monday, May 28, 2018
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



# Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [Solid](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Remote Points](#)
    - [Remote Point](#)
  - [Mesh](#)
    - [Mesh Controls](#)
  - [Fracture](#)
    - [Crack](#)
  - [Named Selections](#)
  - [Static Structural \(B5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(B6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
      - [Stress Probe](#)
      - [Fracture Tool](#)
        - [SIFS \(K1\)](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (B4)

### Geometry

TABLE 2  
Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	E:\Bagus TA\TA 118\TA Final\FINAL 2_files\dp0\Geom\DM\Geom.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	2.4318 m

Length Y	5. m
Length Z	2.4318 m
<b>Properties</b>	
Volume	0.20638 m <sup>3</sup>
Mass	1620.1 kg
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	252074
Elements	126226
Mesh Metric	None
<b>Basic Geometry Options</b>	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
<b>Advanced Geometry Options</b>	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\PUSAT STUDI KELAUTAN\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (B4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>Solid</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	2.4318 m

Length Y	5. m
Length Z	2.4318 m
<b>Properties</b>	
Volume	0.20638 m <sup>3</sup>
Mass	1620.1 kg
Centroid X	0.15738 m
Centroid Y	-4.449e-004 m
Centroid Z	-7.2372e-002 m
Moment of Inertia Ip1	3116.1 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	636.78 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	3250.1 kg·m <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	
Nodes	271767
Elements	133026
Mesh Metric	None

## Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System	Coordinate System 4
State	Fully Defined		
Definition			
Type	Cartesian		
Coordinate System ID	0.		
Coordinate System		Program Controlled	
Suppressed		No	
Origin			
Origin X	0. m	0.38386 m	0.58596 m
Origin Y	0. m	2.7439e-002 m	-0.81118 m
Origin Z	0. m	0.19775 m	6.6041e-003 m
Define By		Geometry Selection	Global Coordinates
Geometry		Defined	
Location			Defined
Directional Vectors			
X Axis Data	[ 1. 0. 0. ]		[ 0.65523 0.75487 -2.9057e-002 ]
Y Axis Data	[ 0. 1. 0. ]		[ -0.75413 0.65588 3.3443e-002 ]
Z Axis Data	[ 0. 0. 1. ]		[ 4.4303e-002 0. 0.99902 ]
Principal Axis			
Axis		X	
Define By		Global X Axis	Hit Point Normal
Hit Point Normal			Defined
Orientation About Principal Axis			
Axis		Y	
Define By		Default	
Transformations			

Base Configuration		Absolute	
Transformed Configuration		[ 0.38386 2.7439e-002 0.19775 ]	[ 0.58596 - 0.81118 6.6041e-003 ]

## Remote Points

**TABLE 5**  
**Model (B4) > Remote Points**

Object Name	<i>Remote Points</i>
State	Fully Defined
<b>Display</b>	
Show Connection Lines	No

**TABLE 6**  
**Model (B4) > Remote Points > Remote Point**

Object Name	Remote Point	Remote Point 2	Remote Point 3	Remote Point 4	Remote Point 5
State	Fully Defined				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	1 Face				
Coordinate System	Global Coordinate System				
X Coordinate	1.4371 m	2. m	1.5104 m	1.5651 m	9.7047 e-014 m
Y Coordinate	1.3909 m	- 5.4746e-004 m	-1.311 m	- 4.4041e-004 m	- 5.1903e-004 m
Z Coordinate	- 6.7788e-004 m	- 1.4842e-013 m	- 8.7656e-004 m	- 1.2452 m	-2. m
Location	Defined				
Definition					
Suppressed	No				
Behavior	Deformable				
Pinball Region	All				
DOF Selection	Program Controlled				

## Mesh

**TABLE 7**  
**Model (B4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Display</b>	
Display Style	Body Color
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0



<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	2.721e-003 m
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Patch Conforming Options</b>	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
<b>Patch Independent Options</b>	
Topology Checking	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	271767
Elements	133026
Mesh Metric	None

**TABLE 8**  
**Model (B4) > Mesh > Mesh Controls**

Object Name	Automatic Method	Body Sizing
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Body	
Definition		
Suppressed	No	
Method	Automatic	
Element Midside Nodes	Use Global Setting	
Type		Sphere of Influence

Sphere Center		Global Coordinate System
Sphere Radius		1. m
Element Size		2.12e-002 m

**TABLE 9**  
**Model (B4) > Fracture**

Object Name	<i>Fracture</i>
State	Solved

**TABLE 10**  
**Model (B4) > Fracture > Crack**

Object Name	<i>Crack</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Source	Crack
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
<b>Definition</b>	
Coordinate System	Coordinate System 4
Align with Face Normal	Yes
Project to Nearest Surface	Yes
Crack Shape	Semi-Elliptical
--Major Radius	1.67e-003 m
--Minor Radius	25.e-004 m
Fracture Affected Zone	Program Controlled
Fracture Affected Zone Height	2.4622e-003 m
Largest Contour Radius	1.e-003 m
Circumferential Divisions	8
Mesh Contours	11
Crack Front Divisions	15
Solution Contours	10
Suppressed	No
<b>Buffer Zone Scale Factors</b>	
X Scale Factor	2.
Y Scale Factor	2.
Z Scale Factor	2.
<b>Named Selections Creation</b>	
Crack Front Nodes	NS_Crack_Front
Crack Faces Nodes	Off
Contact Pairs Nodes	Off

**TABLE 11**  
**Model (B4) > Fracture > Crack > Named Selections**

Object Name	<i>NS_Crack_Front</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Geometry	31 Nodes
<b>Definition</b>	
Send to Solver	Yes
Visible	Yes
Program Controlled Inflation	Exclude
<b>Statistics</b>	
Type	Generated

Total Selection	31 Nodes
Suppressed	0
Used by Mesh Worksheet	No

## Named Selections

**TABLE 12**  
**Model (B4) > Named Selections > Named Selections**

Object Name	Problematic Geometry	Problematic Geometry 2	Problematic Geometry 3	Problematic Geometry 4	Problematic Geometry 5
State	Suppressed				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	No Selection				
Definition					
Send to Solver	Yes				
Visible	Yes				
Program Controlled Inflation	Exclude				
Statistics					
Type	Manual				
Total Selection	No Selection				
Suppressed	0				
Used by Mesh Worksheet	No				

## Static Structural (B5)

**TABLE 13**  
**Model (B4) > Analysis**

Object Name	Static Structural (B5)
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

**TABLE 14**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings**

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	

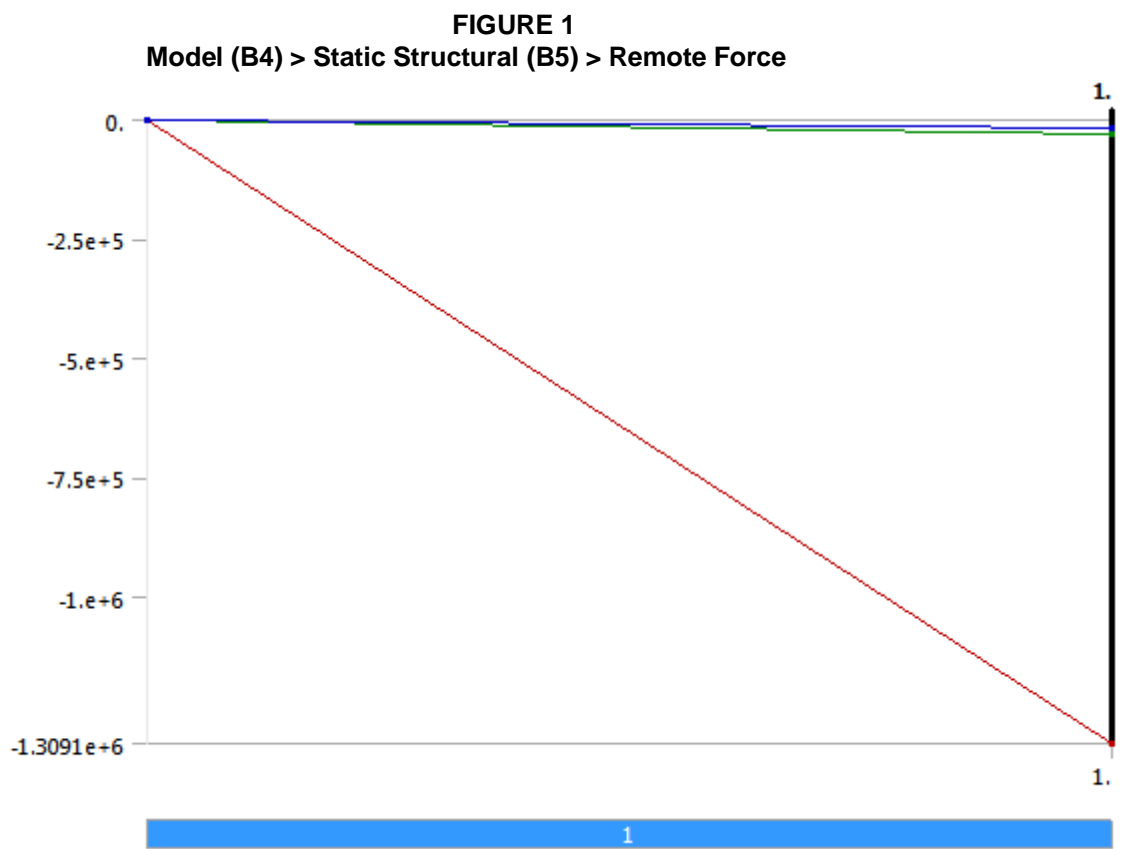
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Fracture	On
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	E:\Bagus TAITA 118\TA Final\FINAL 2_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

**TABLE 15**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

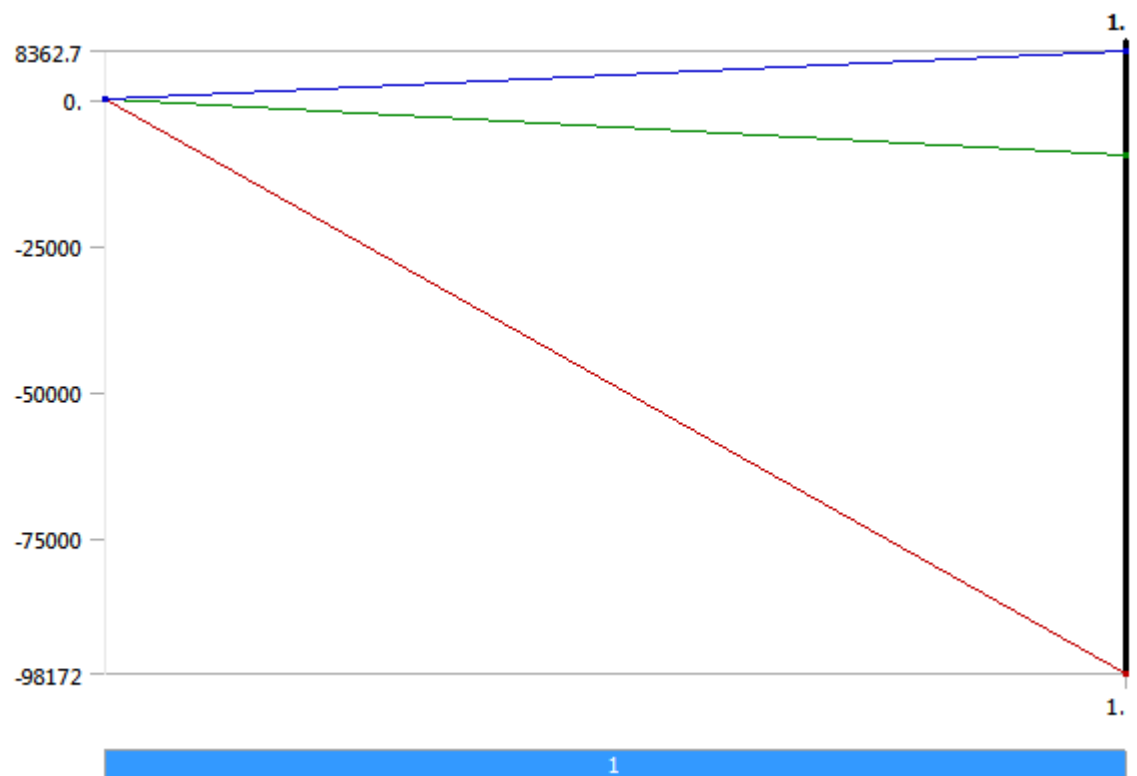
Object Name	Fixed Support	Remote Force	Remote Force 2	Remote Force 3	Remote Force 4	Remote Force 5	oment	oment 2	oment 3	oment 4	oment 5
	Fully Defined										
State	Scope										

Supporting Method	Geometry Selection	Remote Point									
Geometry	Faces										
Remote Points		Remote Point	Remote Point 2	Remote Point 3	Remote Point 4	Remote Point 5	Remote Point	Remote Point 2	Remote Point 3	Remote Point 4	Remote Point 5
Coordinate System		Global Coordinate System									
X Coordinate		.4371 m	. m	.5104 m	.5651 m	.7047e-014 m					
Y Coordinate		.3909 m	5.4746e-004 m	1.311 m	4.4041e-004 m	5.1903e-004 m					
Z Coordinate		6.7788e-004 m	1.4842e-013 m	8.7656e-004 m	1.2452 m	2. m					
Location		Defined									
Definition											
Type	Fixed Support	Remote Force					Moment				
Suppressed		No									
Define By		Components									
X Component		1.3091e+006 N (ramped)	98172 N (ramped)	1.0721e+006 N (ramped)	1.064e+005 N (ramped)	89231 N (ramped)	125.31 N·m (ramped)	653.49 N·m (ramped)	57.738 N·m (ramped)	330.59 N·m (ramped)	73.21 N·m (ramped)
Y Component		29492 N (ramped)	9474.7 N (ramped)	15257 N (ramped)	9875.1 N (ramped)	15791 N (ramped)	1417.4 N·m (ramped)	2064.7 N·m (ramped)	1638.7 N·m (ramped)	2712.7 N·m (ramped)	4166.7 N·m (ramped)
Z Component		17037 N (ramped)	362.7 N (ramped)	9296.8 N (ramped)	430.2 N (ramped)	37899 N (ramped)	2367.1 N·m (ramped)	1129.6 N·m (ramped)	1846.4 N·m (ramped)	596.82 N·m (ramped)	1583.4 N·m (ramped)
Behavior		Deformable									
Coordinate System							Global Coordinate System				

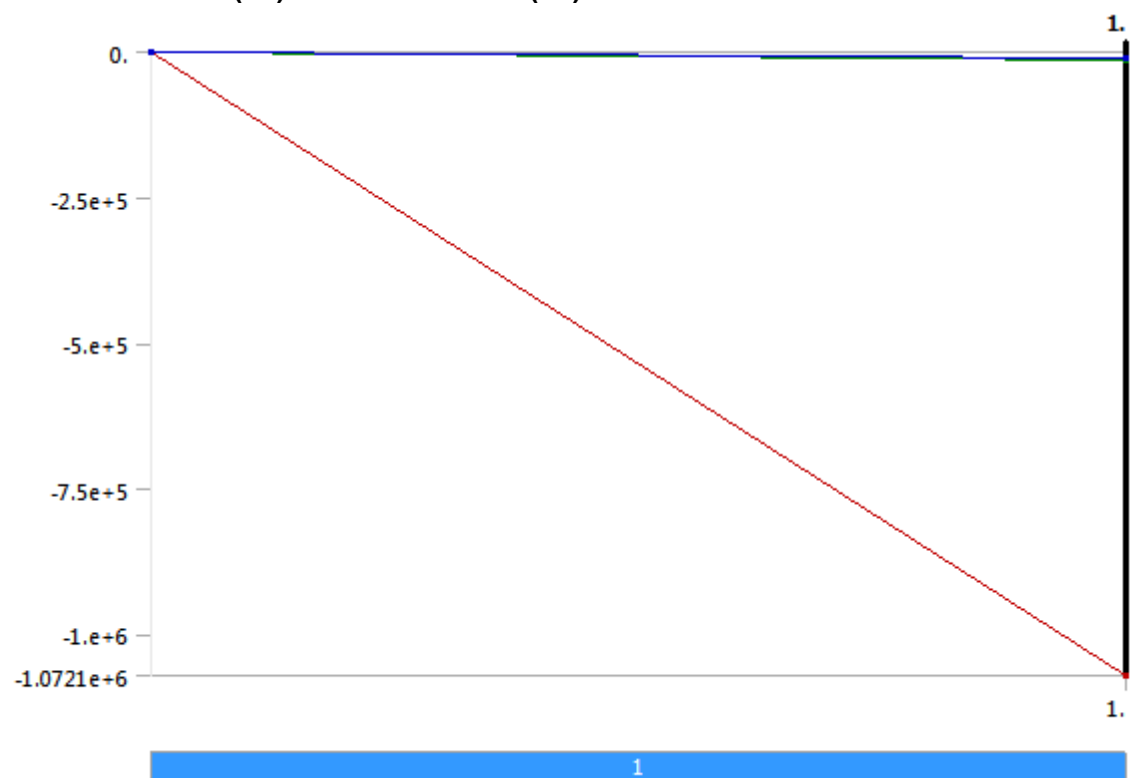
Advanced		
P inball Region		All



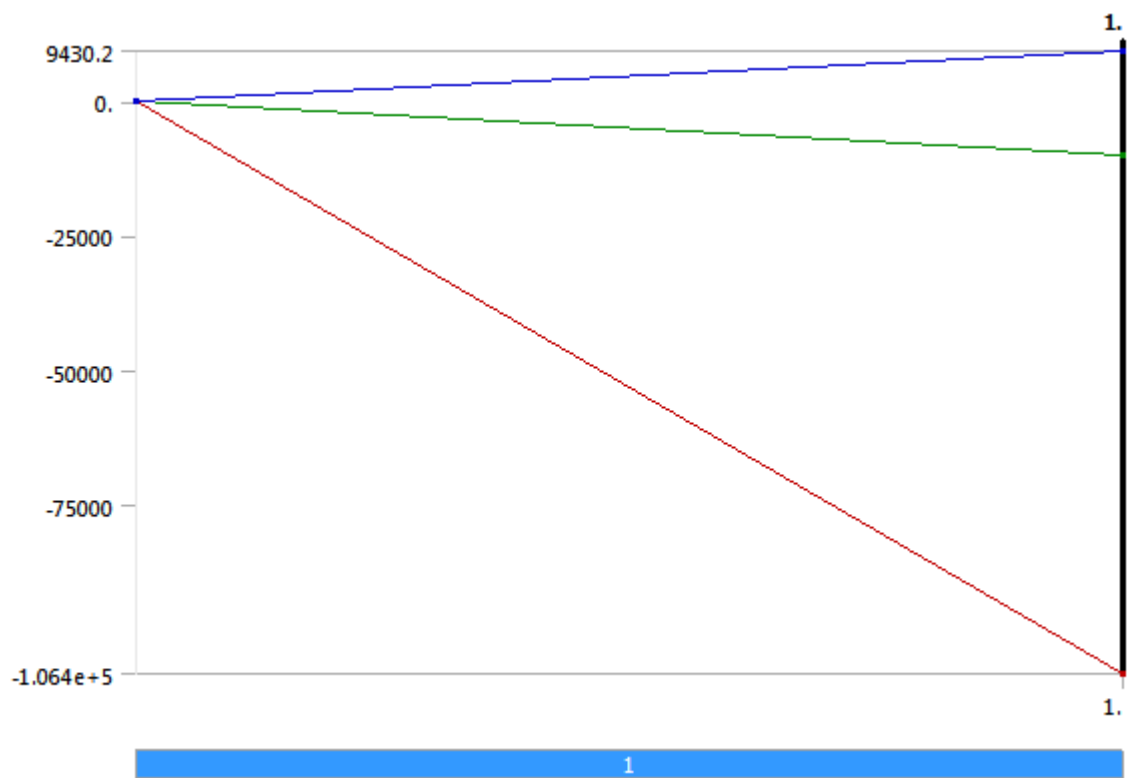
**FIGURE 2**  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Remote Force 2



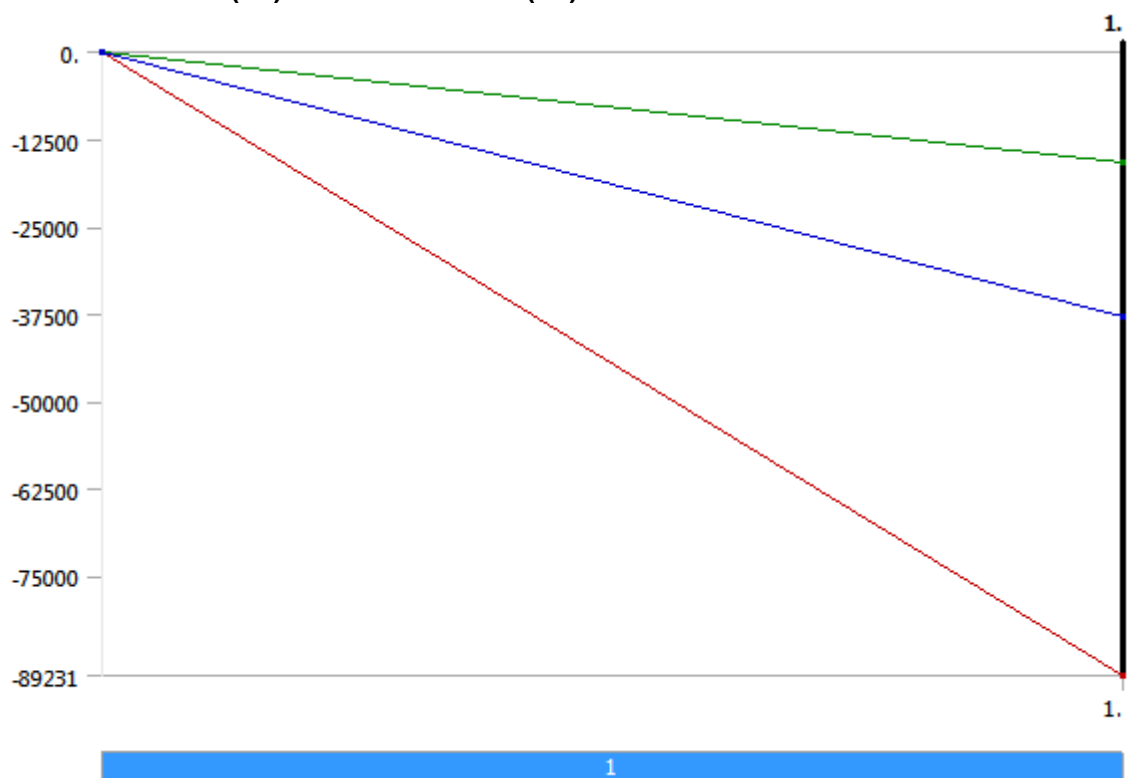
**FIGURE 3**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Remote Force 3**



**FIGURE 4**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Remote Force 4**

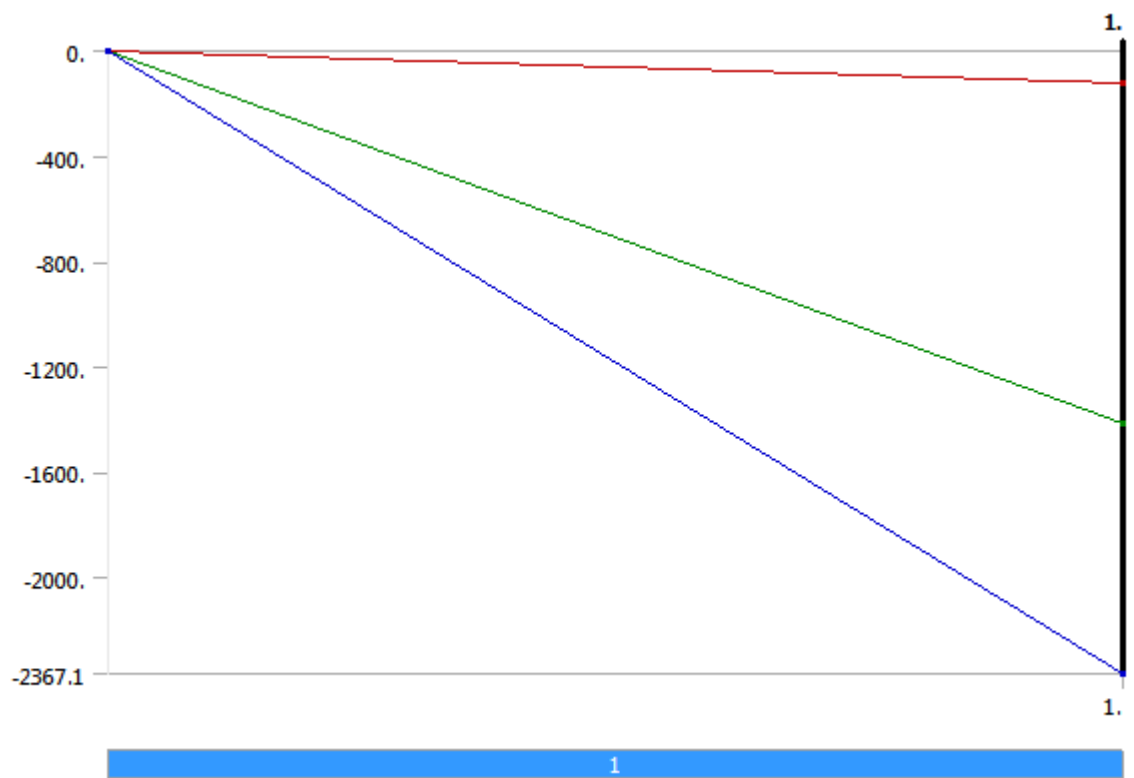


**FIGURE 5**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Remote Force 5**

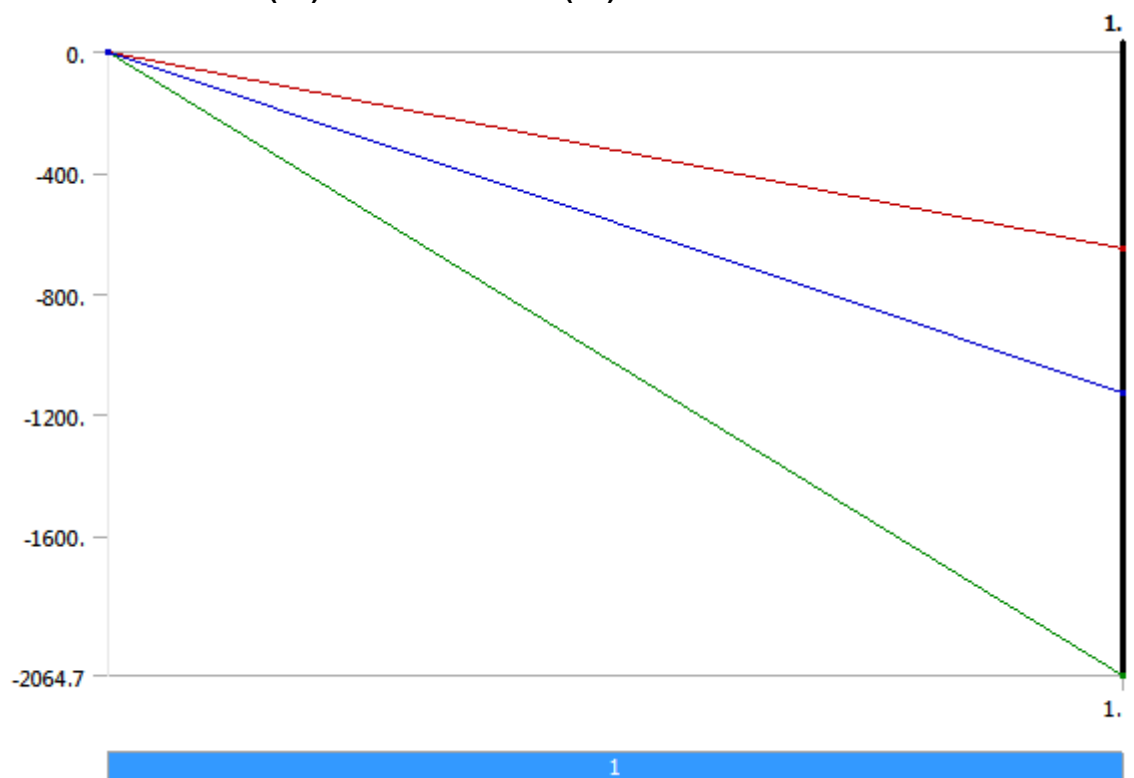


**FIGURE 6**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Moment**

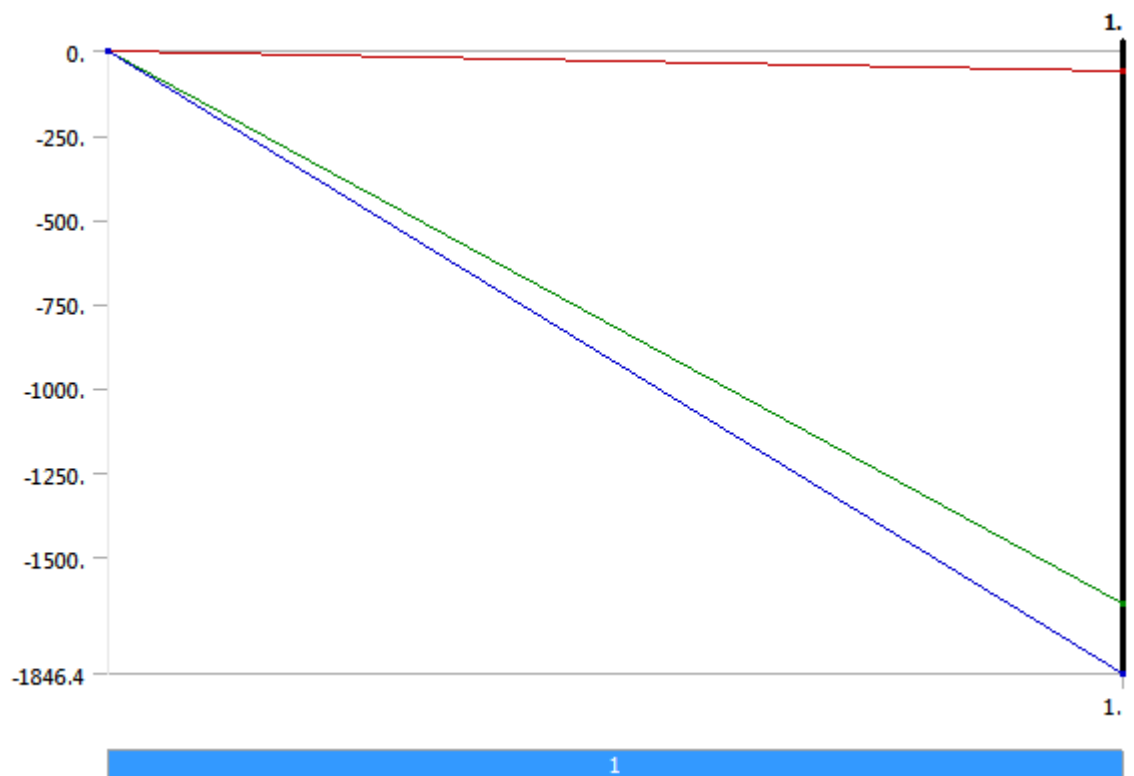




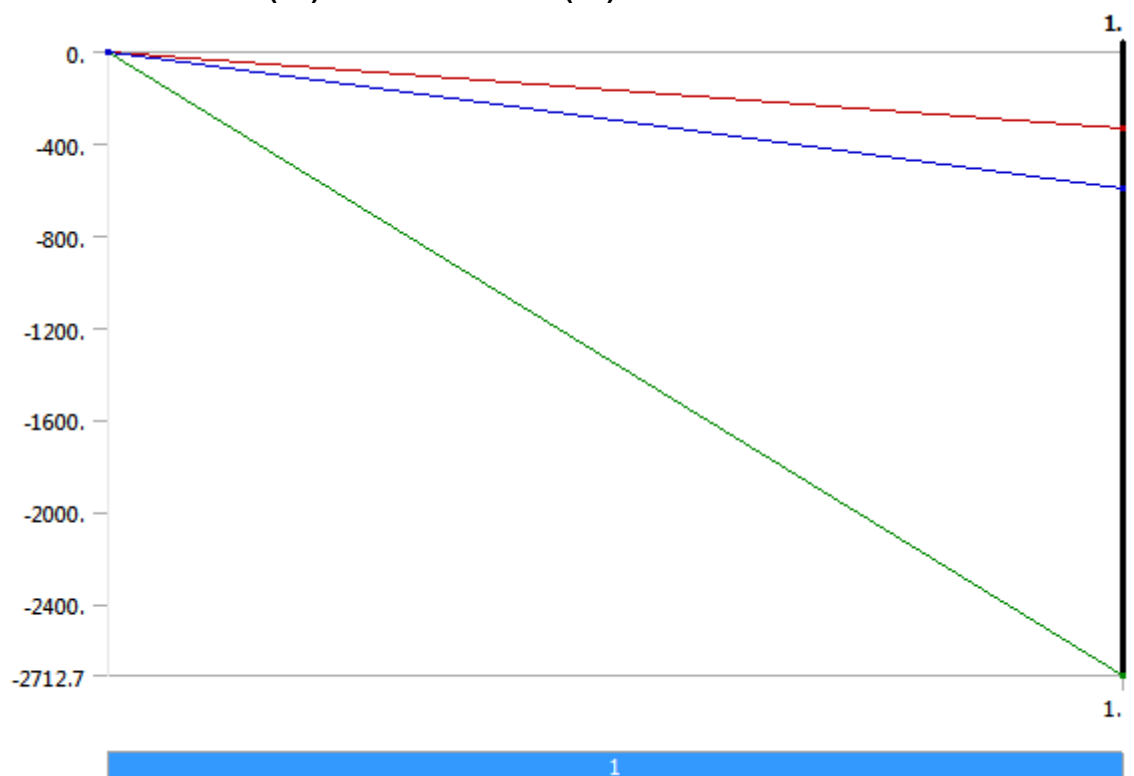
**FIGURE 7**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Moment 2**



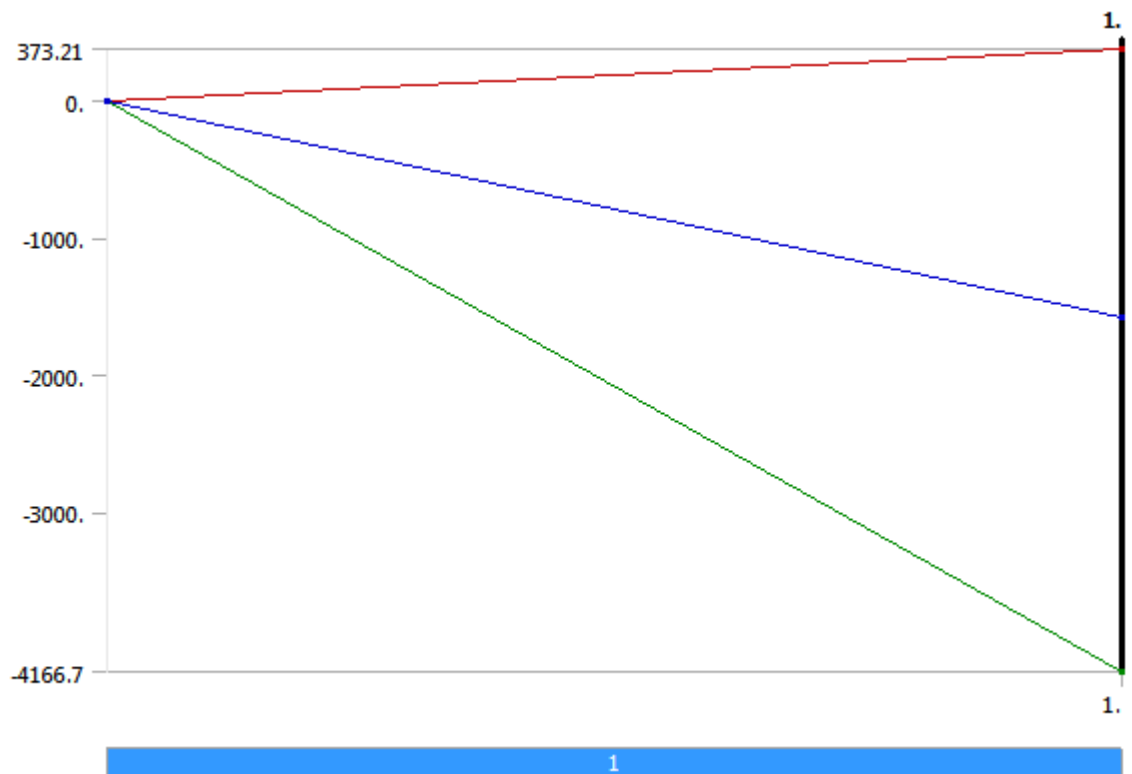
**FIGURE 8**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Moment 3**



**FIGURE 9**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Moment 4**



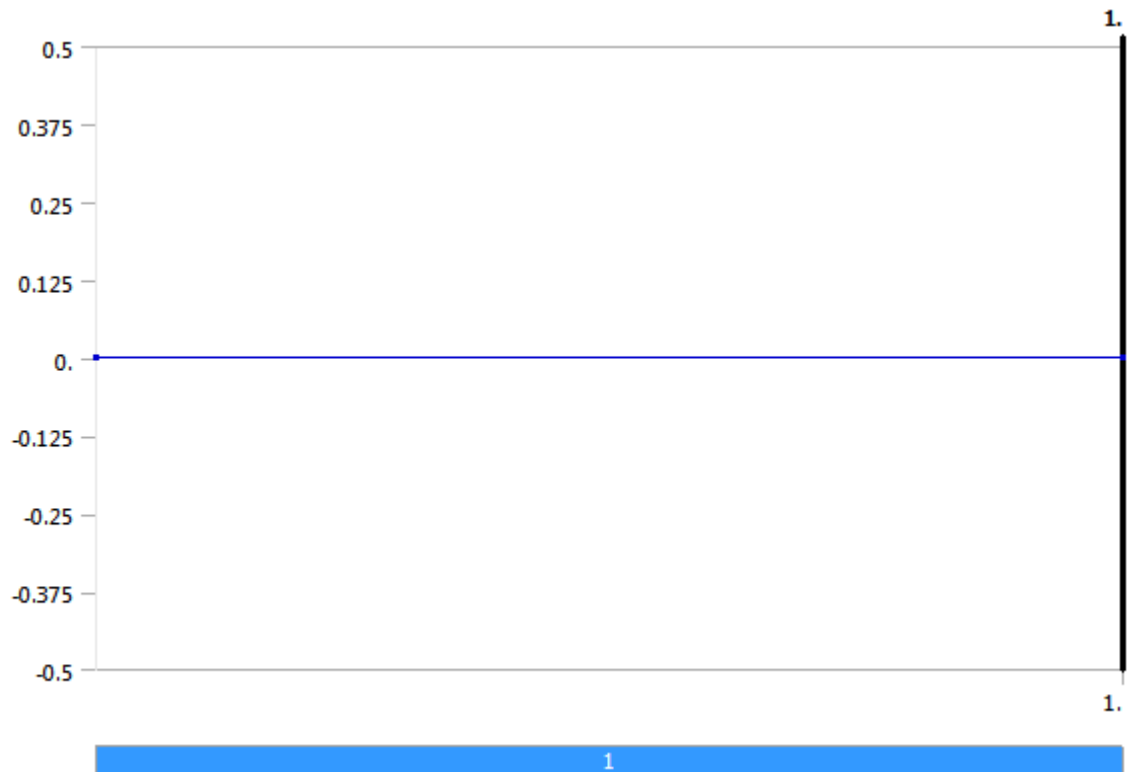
**FIGURE 10**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Moment 5**



**TABLE 16**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads**

Object Name	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	2 Faces
<b>Definition</b>	
Type	Displacement
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0. m (ramped)
Y Component	0. m (ramped)
Z Component	0. m (ramped)
Suppressed	No

**FIGURE 11**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Displacement**



### Solution (B6)

**TABLE 17**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
<b>Information</b>	
Status	Done
<b>Post Processing</b>	
Calculate Beam Section Results	No

**TABLE 18**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No

Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 19**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results**

Object Name	Maximum Principal Stress	Equivalent Stress
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Maximum Principal Stress	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	-1.2732e+010 Pa	2.6254e+006 Pa
Maximum	6.628e+009 Pa	1.3075e+010 Pa
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

**TABLE 20**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Maximum Principal Stress**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
1.	-1.2732e+010	6.628e+009

**TABLE 21**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress**

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
1.	2.6254e+006	1.3075e+010

**TABLE 22**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Probes**

Object Name	<i>Stress Probe</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Type	Stress
Location Method	Coordinate System
Orientation	Coordinate System
Location	Coordinate System

X Coordinate	0.38386 m
Y Coordinate	2.7439e-002 m
Z Coordinate	0.19775 m
Suppressed	No
<b>Options</b>	
Result Selection	All
Display Time	End Time
<b>Results</b>	
Normal - X Axis	6.6068e+008 Pa
Normal - Y Axis	1.6644e+009 Pa
Normal - Z Axis	1.3797e+009 Pa
XY Shear	7.0981e+007 Pa
YZ Shear	-1.6108e+008 Pa
XZ Shear	-8.9487e+008 Pa
Equivalent (von-Mises)	1.816e+009 Pa
Maximum Principal	2.0604e+009 Pa
Middle Principal	1.5891e+009 Pa
Minimum Principal	5.5177e+007 Pa
Intensity	2.0052e+009 Pa
<b>Maximum Value Over Time</b>	
Normal - X Axis	6.6068e+008 Pa
Normal - Y Axis	1.6644e+009 Pa
Normal - Z Axis	1.3797e+009 Pa
XY Shear	7.0981e+007 Pa
YZ Shear	-1.6108e+008 Pa
XZ Shear	-8.9487e+008 Pa
Equivalent (von-Mises)	1.816e+009 Pa
Maximum Principal	2.0604e+009 Pa
Middle Principal	1.5891e+009 Pa
Minimum Principal	5.5177e+007 Pa
Intensity	2.0052e+009 Pa
<b>Minimum Value Over Time</b>	
Normal - X Axis	6.6068e+008 Pa
Normal - Y Axis	1.6644e+009 Pa
Normal - Z Axis	1.3797e+009 Pa
XY Shear	7.0981e+007 Pa
YZ Shear	-1.6108e+008 Pa
XZ Shear	-8.9487e+008 Pa
Equivalent (von-Mises)	1.816e+009 Pa
Maximum Principal	2.0604e+009 Pa
Middle Principal	1.5891e+009 Pa
Minimum Principal	5.5177e+007 Pa
Intensity	2.0052e+009 Pa
<b>Information</b>	
Time	1. s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

**TABLE 23**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Stress Probe**

Time [s]	Stress Probe (NormX) [Pa]	Stress Probe (NormY) [Pa]	Stress Probe (NormZ) [Pa]	Stress Probe (ShearXY) [Pa]	Stress Probe (ShearYZ) [Pa]	Stress Probe (ShearXZ) [Pa]	Stress Probe (Equivalent (von-Mises)) [Pa]	Stress Probe (Maximum Principal) [Pa]	Stress Probe (Middle Principal) [Pa]	Stress Probe (Minimum Principal) [Pa]	Stress Probe (Intensity) [Pa]
1.	.6068e+008	.6644e+009	.3797e+009	.0981e+007	1.6108e+008	8.9487e+008	.816e+009	.0604e+009	.5891e+009	.5177e+007	.0052e+009

**TABLE 24**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fracture Tool**

Object Name	Fracture Tool
State	Solved
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Crack Selection
Crack Selection	Crack

**TABLE 25**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fracture Tool > Results**

Object Name	SIFS (K1)
State	Solved
<b>Definition</b>	
Type	SIFS
Subtype	K1
Contour Start	1
Contour End	6
Active Contour	Last
By	Time
Display Time	Last
Suppressed	No
<b>Results</b>	
Minimum	-6.1876e+007 Pa·m^(0.5)
Maximum	-7.6562e+006 Pa·m^(0.5)
<b>Information</b>	
Time	1. s
Load Step	1
Substep	1
Iteration Number	1

**TABLE 26**  
**Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Fracture Tool > SIFS (K1)**

Length [m]	SIFS (K1) Contour 1 [Pa·m^(0.5)]	SIFS (K1) Contour 2 [Pa·m^(0.5)]	SIFS (K1) Contour 3 [Pa·m^(0.5)]	SIFS (K1) Contour 4 [Pa·m^(0.5)]	SIFS (K1) Contour 5 [Pa·m^(0.5)]	SIFS (K1) Contour 6 [Pa·m^(0.5)]
0.	23.20e-003	38.883e-003	47.5e-003	56.167e-003	65.586e-003	76.562e-003
2.50e-005	48.27e-003	33.767e-003	33.688e-003	3.3629e-003	3.3577e-003	3.3528e-003

5. 00e-005	55.97e- 003	18.17 8e-003	2.886 4e-003	- 3.673e-003	3.737 e-003	3.830 7e-003
7. 50e-005	59.27e- 003	46.00 2e-003	4.601 4e-003	4.601 e-003	4.601 e-003	4.601 2e-003
1. 00e-005	61.97e- 003	45.63 7e-003	4.954 6e-003	5.009 8e-003	5.010 9e-003	5.010 8e-003
1. 25e-005	72.83e- 003	52.82 2e-003	5.284 e-003	5.284 5e-003	5.284 6e-003	5.284 5e-003
1. 50e-005	75.97e- 003	53.22 5e-003	5.498 7e-003	5.499 2e-003	5.499 3e-003	5.499 2e-003
1. 75e-005	82.30e- 003	56.57 1e-003	5.659 3e-003	5.659 5e-003	5.659 5e-003	5.659 3e-003
2. 00e-005	88.83e- 003	58.00 1e-003	5.799 4e-003	5.799 6e-003	5.799 6e-003	5.799 5e-003
2. 25e-005	93.10e- 003	59.09 e-003	5.912 2e-003	5.912 3e-003	5.912 2e-003	5.912 e-003
2. 50e-005	99.10e- 003	60.06 2e-003	6.010 8e-003	6.011 e-003	6.011 1e-003	6.010 e-003
2. 75e-005	106.47e- 003	60.84 5e-003	6.086 9e-003	6.087 e-003	6.087 e-003	6.086 e-003
3. 00e-005	110.47e- 003	61.39 2e-003	6.142 2e-003	6.142 5e-003	6.142 5e-003	6.142 4e-003
3. 25e-005	118.30e- 003	61.71 e-003	6.174 2e-003	6.174 4e-003	6.174 3e-003	6.174 2e-003
3. 50e-005	123.77e- 003	61.84 3e-003	6.187 e-003	6.187 2e-003	6.187 2e-003	6.187 1e-003
3. 75e-005	131.40e- 003	61.83 8e-003	6.186 2e-003	6.186 3e-003	6.186 2e-003	6.186 e-003
4. 00e-005	144.30e- 003	61.84 7e-003	6.187 4e-003	6.187 7e-003	6.187 7e-003	6.187 e-003
4. 25e-005	154.77e- 003	61.70 4e-003	6.172 9e-003	6.173 e-003	6.173 e-003	6.172 8e-003
4. 50e-005	163.73e- 003	6.137 9e-003	6.140 9e-003	6.141 e-003	6.141 2e-003	6.141 1e-003
4. 75e-005	175.40e- 003	6.086 1e-003	6.088 5e-003	6.088 7e-003	6.088 7e-003	6.088 5e-003
5. 00e-005	182.53e- 003	- 6.011e-003	6.015 6e-003	6.015 8e-003	6.015 9e-003	6.015 8e-003
5. 25e-005	190.70e- 003	5.918 5e-003	5.920 8e-003	5.921 e-003	5.920 e-003	5.920 7e-003
5. 50e-005	199.90e- 003	5.815 1e-003	5.814 5e-003	5.814 6e-003	5.814 e-003	5.814 5e-003
5. 75e-005	209.57e- 003	5.673 8e-003	5.676 1e-003	5.676 3e-003	5.676 2e-003	5.676 e-003
6. 00e-005	219.47e- 003	5.326 9e-003	5.503 e-003	5.503 8e-003	5.503 8e-003	5.503 e-003
6. 25e-005	227.47e- 003	5.276 6e-003	5.278 e-003	5.278 9e-003	- 5.27e-003	5.278 8e-003
6. 50e-005	237.07e- 003	4.569 3e-003	4.960 8e-003	5.016 4e-003	5.017 e-003	5.017 3e-003
6. 75e-005	247.97e- 003	4.620 4e-003	4.621 6e-003	4.621 6e-003	4.621 6e-003	4.621 5e-003
7. 00e-005	260.70e- 003	1.824 e-003	2.897 4e-003	3.686 9e-003	3.752 1e-003	3.845 4e-003
7. 25e-005	271.13e- 003	3.385 8e-003	3.378e-003	3.372 1e-003	- 3.367e-003	3.362 3e-003



# Material Data

## Structural Steel

**TABLE 27**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7850 kg m <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	434 J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	60.5 W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1.7e-007 ohm m

**TABLE 28**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength Pa
0

**TABLE 29**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

**TABLE 30**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

**TABLE 31**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

**TABLE 32**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22

**TABLE 33**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

**TABLE 34**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient Pa	Strengt h Exponent	Ductilit y Coefficient	Ductilit y Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cycli c Strain Hardening Exponent
9.2e+00 8	-0.106	0.213	-0.47	1.e+00 9	0.2

**TABLE 35**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperatur e C	Young' s Modulus Pa	Poisson' s Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+01 1	0.3	1.6667e+01 1	7.6923e+01 0

**TABLE 36**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000

## BIODATA PENULIS



Bagus Panuntun, anak keempat dari enam bersaudara ini lahir di Grobogan pada tanggal 20 Juli 1995. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN 1 Grobogan pada tahun 2007 dan SMP Negeri 3 Purwodadi pada tahun 2010. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Negeri Sragen Bilingual Boarding School Indonesia – Turki pada tahun 2013. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Departemen Teknik Kelautan pada tahun 2014, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SBMPTN dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 4314100079. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis pernah mendapatkan amanah sebagai Staff Departemen Hubungan Luar Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas (BEM F) ITS. Penulis pernah berkesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT. Pertamina EP Field Poleng Gresik, Indonesia selama 2 bulan. Pada kegiatan Kerja Praktek tersebut, penulis menganalisa struktur milik perusahaan yang menumbuhkan kecintaan terhadap bidang analisa dan produksi bangunan lepas pantai. Selaras dengan kecintaan penulis, dalam Tugas Akhir ini penulis juga melakukan analisa umur kelelahan pada bangunan lepas pantai.

Kontak Penulis

*E-mail* : [baguspanuntun.its@gmail.com](mailto:baguspanuntun.its@gmail.com)

*Mobile Phone* : 0822 4216 8789